

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Приладобудівний факультет
Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри ІВТ

(підпис) Володимир ЄРЕМЕНКО
(ініціали, прізвище)

“ ____ ” _____ 2020 р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою

«Інформаційні вимірювальні технології та системи»

спеціальності 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»

на тему: Система вимірювання запиленості атмосферного повітря

Виконав (-ла): студент (-ка) IV курсу, групи ВМ-61-2

Кириленко Єлизавета Олексіївна

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Керівник

доц. та професор каф. ІВС, д.т.н., Шевченко Костянтин Леонідович

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Консультант

(назва розділу)

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ініціали)

(підпис)

Рецензент

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище ім'я по батькові)(підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному
проєкті немає запозичень з праць інших ав-
торів без відповідних посилань.

Студент

(підпис)

Київ – 2020 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»**

Факультет (інститут) _____ *приладобудівний факультет* _____
(повна назва)

Кафедра _____ *інформаційно-вимірювальних технологій* _____
(повна назва)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»

Освітньо-професійна програма
«Інформаційні вимірювальні технології та системи»
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ **Володимир ЄРЕМЕНКО** _____
(підпис) (ініціали, прізвище)

«___» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
на дипломний проєкт студенту
Кириленко Єлизаветі Олексіївні
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Система вимірювання запиленості атмосферного повітря.

керівник проєкту (роботи) Шевченко К.Л. _____ ,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «___» _____ 20__ р. № _____

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) _____

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) 1. Прилад повинен бути працездатний в діапазоні від -10 до +50°C, похибка вимірювання і реєстрації не повинна перевищувати $\pm 10\%$. 2. Вимірювання і реєстрація досліджуваного об'єму повітря повинно проводитись в діапазоні запиленості повітря 0...100 мг/м³ з абсолютною похибкою, що не перевищує ± 1 мг/м³.

4. Зміст (дипломної роботи) розрахунково-пояснювальної записки (перелік за

вдань, які потрібно розробити) ТЗ. Вступ. Огляд існуючих технічних рішень. Розробка структурної, функціональної та принципової схем.

5. Перелік (ілюстративного) графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів тощо) Схема структурна. Схема функціональна. Схема принципова.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 11 лютого 2020 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1.	Розробка та узгодження технічного завдання	22.03.2020 р.	
2.	Огляд і аналіз існуючих технічних рішень	05.03.2020 р.	
3.	Проектування структурної схеми	13.04.2020 р.	
4.	Проектування функційної схеми	02.04.2020 р.	
5.	Проектування схеми електричної принципової вимірювальних каналів системи	14.04.2020 р.	
6.	Аналіз похибок вимірювальних каналів	14.04.2020 р.	
7.	Оформлення графічних матеріалів	01.05.2020 р.	
8.	Оформлення пояснювальної записки	01.05.2020 р.	
9.	Попередній захист дипломного проекту	07.05.2020 р.	
10.	Рецензування дипломного проекту	до 10.06.2020 р.	
11.	Захист дипломного проекту	до 20.06.2020 р.	

Студент

(підпис)

Кириленко Є.О.
(ініціали, прізвище)

Керівник проекту

(підпис)

Шевченко К.Л.
(ініціали, прізвище)

* Консультантом не може бути зазначено керівника дипломного проекту (роботи)

АНОТАЦІЯ

У дипломному проекті розроблена система вимірювання запиленості атмосферного повітря та проведений розрахунок каналу приймання та підсилення оптичного сигналу. Вимірювальний канал забезпечує підсилення вхідного сигналу фотоприймача та отримання електричного сигналу призначеного для подальшої обробки.

В проекті розроблена структурна і функціональна схеми системи вимірювання запиленості атмосферного повітря, а також принципова схема неінвертуючого підсилювача вхідного сигналу фотоприймача.

Проведено детальний аналіз і розрахована сумарна відносна похибка каналу вимірювання.

Дипломний проект поділяється на вступну та основну частини та додатки. До вступної частини входять: титульний аркуш, завдання на ДР, реферат (анотація) українською та англійською мовами, зміст та вступну частину.

Дипломний проект складається із 7 розділів. До списку використаних джерел входять 13 бібліографічних найменувань.

Ключові слова: система вимірювання, запиленість, фотоприймач, атмосферне повітря.

ABSTRACT

In the thesis the system of measuring the dustiness of atmospheric air is developed and the calculation of the channel of reception and amplification of the optical signal is carried out. The measuring channel amplifies the input signal of the photodetector and receives an electrical signal intended for further processing.

The project develops a structural and functional diagram of the system for measuring the dustiness of atmospheric air, as well as a schematic diagram of a non-inverting amplifier of the input signal of the photodetector.

A detailed analysis is performed and the total relative error of the measurement channel is calculated.

Thesis is divided into introductory and main parts and appendices. The introductory part includes: title page, tasks on DR, abstract (abstract) in Ukrainian and English, content and introductory part.

Thesis consists of 7 sections. The list of used sources includes 13 bibliographic names.

Key words: measuring system, dustiness, photodetector, atmospheric air.

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедрою ІВТ

_____ проф. ЄРЕМЕНКО В.С.

" ____ " _____ 2020 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на дипломний проект

«Система вимірювання запиленості атмосферного повітря»

ВМ61.100004.001 ТЗ

УЗГОДЖЕНО:

Керівник дипломного проекту

(Посада)

(Прізвище І.ПБ.)

" ____ " _____ 2020 р.

Дипломник:

Ст. гр. ВМ-61-2

(Прізвище І.ПБ.)

" ____ " _____ 2020 р.

Залікова книжка

Київ 2020

1 Призначення і склад системи

1.1 Система вимірювання запиленості атмосферного повітря призначена для вимірювання та сигналізації перевищення допустимого рівня запиленості атмосферного повітря і вимірювання масової концентрації пилинок у атмосферному повітрі.

1.2 Система за п. 1.1 повинна складатися з трьох систем.

1.2.1 Підсистема генератора напруги. Колір кодується градаціями складових каналів (Red, Green, Blue). Тому за збільшення величини градації якогось із каналів — зростає його інтенсивність під час синтезу.

Кількість градацій кожного каналу залежить від розрядності бітового значення RGB. Зазвичай використовують 24-бітну модель, у котрій визначається по 8 біт на кожен канал, і тому кількість градацій дорівнює 256, що дозволяє закодувати $256^3 = 16\,777\,216$ кольорів. Робота генератора корегується за допомогою мікроконтролера.

1.2.2 Автоматизована система відображення рівня запиленості атмосферного повітря з подачею досліджуваного об'єму повітря.

1.2.3 Автоматизована система вимірювання концентрації пилинок в досліджуваному об'ємі атмосферного повітря, яка вимірює і реєструє вміст пилинок в $\text{м}^3/\text{с}$ і інтегральну кількість в м^3 за певний часу вимірювання з допомогою об'ємного лічильника.

2 Принцип дії системи вимірювання запиленості атмосферного повітря

2.1 Підсистема автоматичного вимірювання і реєстрації запиленості повітря повинна використовувати оптичний прилад (фотоприймач), що працює в комплекті з відповідним фільтром і на вході має камеру, що призначена для забору (проходження крізь неї) досліджуваного об'єму повітря.

2.2 Підсистема відображення значення запиленості повітря повинна показувати значення запиленості повітря, яке буде відображено на РКІ (рідкокристалічному індикаторі).

2.3 Прилад повинен мати рідкокристалічний дисплей з підсвіткою показів жовтого кольору.

2.4. Підсистема реєстрації досліджуваного об'єму повітря повинна використовувати мікроконтролер, який управляє генератором.

2.5. Прилад повинен мати можливість роботи від батареї.

2.6. Прилад має працювати близько 30 годин у ввімкненому режимі.

2.7. Прилад повинен бути пристосований, як для роботи в приміщеннях, так і в польових умовах.

3 Технічні характеристики системи вимірювання запиленості атмосферного повітря

3.1 Прилад повинен бути працездатний в діапазоні від -10 до +50°C, похибка вимірювання і реєстрації не повинна перевищувати $\pm 10\%$.

3.3 Вимірювання і реєстрація досліджуваного об'єму повітря повинно проводитись в діапазоні запиленості повітря 0...100 мг/м³ з абсолютною похибкою, що не перевищує ± 1 мг/м³.

4 Умови експлуатації системи вимірювання запиленості атмосферного повітря

4.1 Для модуля вимірювання необхідне забезпечення адекватної працездатності при температурі в діапазоні від -10 до +50°C і відносній вологості до 98% без конденсації вологи, тиску 630-800 мм.рт.ст. Для аналітичного модуля необхідне забезпечення адекватної працездатності при температурі оточуючого

середовища від +5 до +45°C і відносній вологості (15-95)% без конденсації води (при 25°C), тиску 630-800 мм.рт.ст.

4.2. Зміни температури за п. 3.1, а також інші впливові фактори, які можуть мати місце при нормальній роботі системи для вимірювання запиленості повітря (вібрація, магнітне і електричне поле і т.п.) не повинні порушувати нормальну роботу системи вимірювання запиленості атмосферного повітря.

4.3 Пристрій працює від вбудованого акумулятора, споживана потужність.

Нерядка	Формат	Познака	Найменування	Аркуші	№ екз.	Примітки
1			<u>Альбом 1</u>			
2						
3			<u>Документація загальна</u>			
4			<u>Заново розроблена</u>			
5	A4	BM61.290004.001 ТП	Відомість технічного проекту	1	1	
6	A4	BM61.290004.002 ПЗ	Пояснювальна записка	66	1	
7	A4	BM61.290004.001 ТЗ	Технічне завдання	2	1	
8						
9	A4	BM61.290004.003 ПЕЗ	Система вимірювання запиленості атмосферного повітря			
10			Перелік елементів	1	1	
11						
12			<u>Альбом 2</u>			
13						
14			<u>Графічна документація</u>			
15			<u>Розроблена заново</u>			
16	A1	BM61.290004.001 Е1	Система вимірювання запиленості атмосферного повітря			
17			Схема електрична структурна	1	1	
18						
19	A1	BM61.290004.002 Е2	Система вимірювання запиленості атмосферного повітря			
20			Схема електрична функціональна	1	1	
21						
22	A1	BM61.290004.002 Е3	Блок підсилення оптичного сигналу			
23			Схема електрична принципова	1	1	
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата	BM61.290004.001 ТП Система вимірювання запиленості атмосферного повітря Відомість технічного проекту	
Розроб.		Кириленко				
Перев.		Шевченко				
Тех.контр.		Шевченко				
Н.контр.						
Затвердж.					Лім. Т Аркуш 1 Аркуші 1 КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. ІВТ, гр. BM61-2	

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет України
“КПІ ім. Ігоря Сікорського”
Кафедра автоматизації експериментальних досліджень

Пояснювальна записка

до дипломного проекту

на тему « СИСТЕМА ВИМІРЮВАННЯ ЗАПИЛЕНОСТІ АТМОСФЕРНОГО
ПОВІТРЯ»

Керівник
Шевченко К.Л. _____

дата _____

Студентка групи ВМ-61-2
Кириленко Є.О. _____

дата _____

Київ – 2020 року

ЗМІСТ

ВСТУП	4
1. Огляд технічних рішень.....	6
1.1. Характеристики повітря	6
1.2. Методи вимірювання вологості повітря	7
1.3. Вимірювання тиску атмосферного повітря	9
1.4. Прилади, які використовують для вимірювання температури повітря....	11
1.5. Прилади для вимірювання вмісту кисню у повітрі	13
1.6. Забруднення повітря	14
1.7. Основні забрудники повітря	15
1.8. Методи вимірювання домішок у повітрі	19
1.9. Принцип дії оптичних газоаналізаторів.....	21
1.10. Принцип дії полум'яно-іонізаційних газоаналізаторів.....	23
1.11. Розповсюджені методи дослідження газоподібних речовин.....	23
1.12. Принцип дії мас-спектрометрів	25
1.13. Електрохімічні методи дослідження газоподібних речовин	25
1.14. Запиленість як основний забруднювач атмосферного повітря	26
1.15. Найпоширеніші методи вимірювання пилу в атмосферному повітрі	26
1.16. Існуюча Структурна схема прилада для вимірювання запиленості повітря	31
1.17. Принцип роботи прилада для вимірювання запиленості повітря.....	32
2. Розробка структурної схеми вимірювання запиленості повітря.....	34
2.1. Структурна схема розроблюваної системи вимірювання Запиленості повітря	34

2.2. Опис структурної схеми	35
3. Розробка функціональної схеми вимірювання запиленості повітря	37
3.1. Функціональна схема розроблюваної системи вимірювання параметрів світлодіодних ламп	37
3.2. Опис функціональної схеми.....	37
3.2.1 Опис RGB-світлодіоди	39
4. Розробка та розрахунок принципової схеми	47
4.1. Принципова схема підсилювача сигналу з фотодіода	47
5. Розрахунок метрологічних характеристик.....	51
5.1. Сумарна похибка каналу вимірювання.....	64
6. Техніка безпеки.....	67
6.1 Загальні положення.....	67
6.2. Дії працюючих при ураженні електричним струмом.....	70
7. Інструкція з експлуатації схеми вимірювання параметрів світлодіодних ламп.....	72
ВИСНОВКИ	76
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	77

ВСТУП

Проблема чистоти атмосферного повітря виникла із появою промислової і транспорту, які працюють на вугіллі та нафтопродуктах [1]. Атмосферне повітря – це один з найважливіших природних ресурсів, без якого життя на землі було б абсолютно неможливим. Цей ресурс напряму впливає на якість і тривалість нашого життя.

Атмосферне забруднення слід розуміти як надходження у повітря різних газів, частинок рідких або твердих речовин, парів, що перевищує нормальний фон концентрації речовин та негативно впливає на організми, погіршуючи їх життєві умови. Іншими словами, атмосферне забруднення - це будь-які несприятливі зміни стану атмосферного повітря, цілком або частково викликані діяльністю людини, які безпосередньо чи опосередковано змінюють розподіл енергії, рівень радіації, фізико-хімічні властивості атмосфери та умови існування живих організмів [2].

Вже давно відомо, що в умовах високогір'я рідше зустрічаються такі захворювання, як гіпертонія, інфаркт міокарда, діабет та лейкемія. Це можна частково пояснити розрідженням повітря з висотою [3].

Кожна людина сьогодні знає, що таке стрес. В умовах цивілізації стресова реакція не має розрядки у вигляді фізичного навантаження, тому накопичуються серйозні негативні наслідки для здоров'я.

Відсутність належного природного відповіді на збудження нервової системи у цивілізованої людини викликає головні болі від підвищився тиск, ішемію мозку, "розхитування нервів". Підкоряючись природному покликом, організм все ж намагається компенсувати нервові збудження природним чином (розмахування руками, підскакування зі стільця, метання по кімнаті ...), але цього занадто мало для компенсації наслідків стресу.

					ВМ61.100004.001 ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

Одна зі складових стресової реакції - збільшення інтенсивності дихання, причому в кілька (2-5) разів, у порівнянні зі звичайним диханням людини. Відповідно до цього людина вдихає в 2-5 разів більше речовин, забруднюючих повітря. При короткочасних стресах інтенсивність дихання порівняно швидко відновлюється. При частих і особливо сильних і тривалих стресах (наприклад, після втрати близької людини) інтенсивність дихання в колишніх показниках вже не відновлюється і стає постійно надлишковою, що негативно впливає на тривалість життя. Відповідне збільшення дихання зменшення концентрації CO₂ в крові, збільшує ступінь гіпертонії всіх гладких м'язів і мікросудин в тому числі [4].

Зниження концентрації в артеріальній крові вуглекислого газу CO₂ - є результат негативних наслідків стресів, що не знаходять природної, передбаченої природою, розрядки через гіподинамії (недолік фізичних навантажень).

Це лише одна із багатьох можливостей негативного впливу на наш організм забруднюючих домішок у повітрі.

Ця тема актуальна, бо повітря невід'ємно зв'язане з нашим життям, а його якість впливає на якість життя кожного з нас. В зв'язку з цим необхідними етапами розробки цього диплому є вибір, аналіз та розробка системи вимірювання для оцінки якості повітря, яким ми дихаємо.

					ВМ61.100004.001 ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

1 ОГЛЯД ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ

1.1 Характеристики повітря

Повітря — природна суміш, з неї складається атмосфера, тобто повітряна оболонка планети.

Характеристики повітря [1]:

- Абсолютна/відносна вологість;
- Тиск;
- Температура;
- Рівень кисню;
- Розчинені речовини в навколишньому середовищі.

Абсолютна вологість — це маса водяної пари, яка міститься в одному кубічному сантиметрі повітря за даної температури. Інше кажучи, абсолютна вологість — це густина ρ водяної пари за даної температури [7].

Щоб визначити ступінь вологості повітря, необхідно розуміти, наскільки водяна пара близька до насичення. Для цього вводять поняття відносної вологості.

Відносна вологість — це відношення абсолютної вологості повітря за деякої температури до густини насиченої водяної пари за тієї ж температури [7]:

$$\varphi = \frac{\rho}{\rho_n} \cdot 100\% .$$

Величину тиску насиченої пари p_n за даної температури також можна знайти в таблиці.

					ВМ61.100004.001 ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

1.2 Методи вимірювання вологості повітря

Вологість повітря визначають двома методами: гігromетричним і психрометричним.

Гігromетричний метод вимірювання вологості повітря базується на використанні властивості обезжиреної людської волосини змінювати свою довжину при зміні вологості повітря [5].

Психрометричний метод вимірювання вологості повітря базується на використанні аспіраційного психрометра з електровентилятором/механічним вентилятором (рис. 1.1).

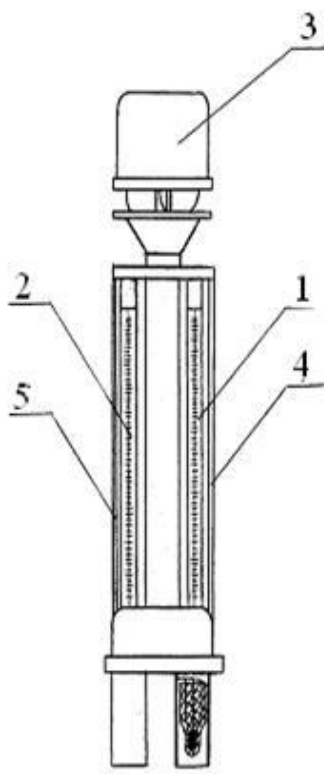


Рисунок 1.1 – Основні компоненти аспіраційного психрометра

Як правило, аспіраційний психрометр складається з двох однакових термометрів 1 і 2 та аспіраційної головки 3, в якій розміщений електродвигун з вентилятором, що обдуває повітрям резервуари термометрів. Термометри розміщені в захисних металевих оправах, що мають форму циліндрів 4 і 5, з'єднаних

у верхній частині за допомогою розширення (аспіраційна головка). Задля підключення двигуна вентилятора до електромережі використовують електрошнур з вилкою. Резервуар робочої рідини одного з термометрів обмотують батистою тканиною, яку змочують водою за допомогою резинового балончика з піпеткою. Під час проходження повітря біля резервуарів термометрів так званий „сухий” термометр показує значення температури оточуючого повітря, а „змочений” - показує нижчу температуру внаслідок процесу випаровування. Зниження значення температури відбувається до тих пір, доки не встановиться динамічна рівновага між втратами теплоти ΔQ_1 і її притоком ΔQ_2 із зовнішнього середовища.

Тож із рівності значень цих теплот отримаємо робочу формулу для визначення абсолютної вологості повітря:

$$a = E_i(t_c^0 - t_{am}^0)p,$$

де a – абсолютна вологість повітря;

E_1 – максимальна вологість повітря при температурі, що показує „змочений” термометр;

t_c^0 – температура „сухого” термометра;

t_{cm}^0 – температура „змоченого” термометра;

p – атмосферний тиск.

Чим нижча вологість повітря, тим інтенсивніше відбувається випаровування і тим нижчу температуру показує „змочений” термометр, тобто тим більша різниця $(t_c^0 - t_{am}^0)$. За структурою формули бачимо, що при цьому отримується менше значення a . Чим більша вологість повітря, тим менша інтенсивність випаровування і менше зниження температури „змоченого” термометра (і навпаки), тобто менша різниця $(t_c^0 - t_{am}^0)$. В цьому випадку отримане за формулою значення „ a ” більше [5].

					ВМ61.100004.001 ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

При максимальній вологості випаровування не відбувається і температура змоченого термометра не знижується, тобто дорівнює нулю. В цьому випадку із формули маємо: $a = E_1$.

1.3 Вимірювання тиску атмосферного повітря

Тиск - це сила, яка рівномірно і нормально діє на площу. За одиницю тиску приймають паскаль - тиск, з яким рівномірно і нормально діє сила в 1 ньютон на площу 1 м².

Барограф – це прилад, який використовується для безперервної реєстрації тиску повітря. Він складається із стовпчика анероїдних коробок, з'єднаного зі стрілкою самозаписувача [5], (рис 1.2).

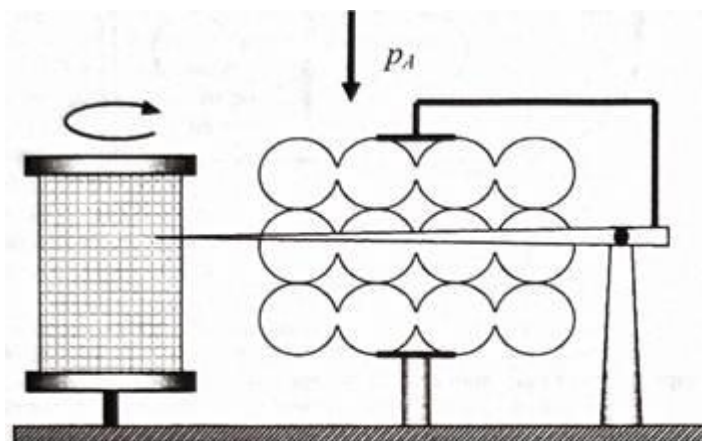


Рисунок 1.2 – Барограф

Кожна анероїдна капсула складається із двох тонких (товщина яких становить 0,2 мм) металевих гофрованих мембран. Всередині капсули тиск повітря становить 100 гПа. Іноді капсулу заповнюють інертним газом при тиску 65 гПа. Кількість капсул у сучасних приладах може сягати 14. Мембрани знаходяться у напруженому стані завдяки гофрованій поверхні та дії пружини.

Сенсор на основі вібруючого проводу. Відомо, що власна частота натягнутої струни збільшується зі зростанням напруги.

					ВМ61.100004.001 ПЗ	Аркуш
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Відношення між резонансною частотою струни і силою натягу цієї ж струни визначається за формулою:

$$F = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{T}{\mu}},$$

де F – основна резонансна частота струни, Гц;

L – довжина струни, м;

T – сила натягу струни, Н;

μ – маса одиниці довжини струни, кг/м.

Механічні переміщення діафрагми одного такого приладу під впливом змінного тиску перетворюються в електромагнітні коливання котушки індуктивності внаслідок руху магніту, з'єданого з проводом. Електромагнітні коливання фіксуються за допомогою системи реєстрації. Для сенсорів такого типу використовують такі матеріали: вольфрам, індій, високо еластична сталь, або сплави(наприклад, "елінвар").

1.4 Прилади, які використовують для вимірювання температури повітря

Температура повітря виражається в градусах міжнародної температурної шкали, або шкали Цельсія (С), загальноприйнятої у фізичних вимірах. Нуль цієї шкали (шкали Цельсія) – температура при якій тане лід, а $+100^{\circ}\text{C}$ — на температуру кипіння води [5]. Ртутний термометр (рис. 1.3).

					ВМ61.100004.001 ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11



Ртутный термометр

Рисунок 1.3 – Основні компоненти термометра

Вимірювання можуть виконуватися як на постійних, так і на непостійних робочих місцях за мінімальне та максимальне віддалення від джерел локального тепловиділення, охолодження та вологовиділення. Вимірюватись може температура на нагрітих поверхнях агрегатів, дверних прорізах, воротах, вікнах, відкритих ваннах, зволожувальних пристроях тощо.

Для визначення температури повітря, як правило, використовуються звичайні ртутні чи спиртові термометри або термопари, рідше терморезистори (термістори). В приміщеннях із значними тепловим випромінюванням використовують парний термометр, що складається з двох термометрів (один із них із зачорненням, а інший із посрібленим резервуаром).

При використанні парного термометра дійсну температуру повітря визначають за формулою [5]:

$$t_o = t_{n.cp} \cdot K(t_c - t_{n.cp}), ^\circ C,$$

де: t_{θ} – дійсна температура повітря, 0С;\

$t_{n.cp}$ – показання термометра з посрібленим резервуаром, 0С ;

t_{ψ} – показання термометра з зачорненим резервуаром, 0С;

K – константа приладу R із резервуаром , $t^{\circ}C$ (частіше за все задана у паспорті до приладу).

Для безперервного контролю та реєстрації температури повітря виробничого середовища використовують самозаписувальні прилади, які зветься термографами.

1.5 Прилади для вимірювання вмісту кисню у повітрі

Киснеміри (газоаналізатори кисню, оксиметри) вимірюють розчинений із певною метою кисень. Дослідження в більшості виконують у водному середовищі, а рідше – в атмосферному повітрі (повітряному середовищі), повітрі робочої зони або газових середовищах [7].

Роль киснемірів не можна недооцінювати. Для прикладу їх незамінності наведемо ситуацію. Від чого в більшості випадків прискорено старіє обладнання? Від внутрішньої корозії, спровокованої великим вмістом розчиненого кисню в живильній воді. Щоб врівноважити його кількість і своєчасно досягти необхідної норми, і слід використовувати цей прилад - оксиметр [5]. Це не тільки продовжить «життя» обладнання, а знизить вірогідність виникнення аварійної ситуації.

Для того щоб визначити концентрацію кисню у воді, можна використовувати різні методи. Наприклад, стандартний метод Вінклера або інші. Кожен з цих методів має свої переваги, проте кожен із них має також недоліки. Для прискоренні швидкості виконання цієї процедури, або якщо є необхідність

					ВМ61.100004.001 ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

провести дослідження в польових умовах, чи якщо вас цікавлять високі експлуатаційні дані, достатня швидкість калібрування і отримання точних результатів, краще зупинити свій вибір на використанні газоаналізатора кисню [5].

Принцип дії цього приладу: суть роботи полягає у визначенні концентрації кисню за допомогою вбудованого в пристрій датчика. Кисень, який направляється дифузією всередину датчика, потрапляє на електроди з електричним струмом. Концентрація газу співвідноситься з цифровими показниками, які і виводяться на дисплей.

1.6 Забруднення повітря

Атмосферне повітря забруднюється різними речовинами: газами, дрібними часточками і рідкими речовинами [9], (рис 1.4).



Рисунок 1.4 – Штучні та природні джерела забруднення атмосфери [9]

Природні забруднення атмосфери здебільшого не спричинюють істотних змін повітря, бо відбуваються за певними біологічними законами і регулюються кругообігом речовин, виявляються періодично. Як правило, небезпеку становить перевищення гранично допустимих меж концентрації забруднюючих речовин у повітрі в декілька разів.

Штучне або антропогенне забруднення атмосферного повітря відбувається внаслідок зміни його складу та властивостей під впливом діяльності людини. За будовою та характером впливу на атмосферу штучні джерела забруднення умовно поділяють на технічні (якими є сажа і дим від згоряння вугілля, а також пил від заводів) та хімічні, представниками яких є газо- та пилоподібні речовини, що можуть вступати в хімічні реакції.

1.7 Основні забруднювачі повітря

Безперечно серйозної шкоди навколишньому середовищу завдає хімічна промисловість. Особливо небезпечними є оксиди азоту, сірчисті сполуки, хлор та інші. Майже всі забруднювальні речовини можуть вступати між собою в реакції, утворюючи високотоксичні сполуки. Це і є основною причиною їх небезпеки (див. табл. 1).

					ВМ61.100004.001 ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

Таблиця 1 - Основні забруднювачі повітря [1]

Забруднювачі	Млн. т./рік
Тверді частинки диму та промисловий пил (запиленість)	580
CO ₂	360
Оксиди сірки	160
Оксиди азоту	110
Сполуки фосфору	18
Сірководень	10
Аміак	8
Хлор	1

Запиленість повітря – це наявність у повітрі подріблених твердих (пилових часточок) природнього та антропогенного походження [1]. Джерелами запиленості атмосферного повітря можуть бути:

- Виверження вулканів;
- Космічний пил (згоряння метеоритів у атмосфері);
- Пилові бурі;
- Сільськогосподарський пил (при збиранні та переробці, фасуванні та пакуванні врожаю);
- Вантажно-розвантажувальні роботи;
- Промисловий (викиди промислових підприємств, особливо цементних заводів та в рудниках);
- Дорожній пил;
- Морський (кришталіки солі).

Пил – мілкоподріблені частинки твердої речовини. За розмірами гранул пил поділяють на:

- Видимий;

- Мікроскопічний;
- Ультрамiкроскопічний.

За розмірами видимий пил не менше 15 мкм, мікроскопічний – 0,20-15 мкм та ультрамiкроскопічний – не більше 0,25 мкм.

Частіше за все, пил знаходиться у вигляді аерозолів – дисперсна система, в якій дисперсною фазою являються тверді пилові частинки, а дисперсним середовищем є повітря.

Вуглекислий газ – CO_2 – діоксид вуглецю – тривка хімічна сполука, яка поширена в природних газах. Ця сполука використовується рослинами в процесі фотосинтезу і формується під час розкладу органічних речовин. Токсична дія діоксиду вуглецю виявляється при його вмісті в повітрі 3-4% і проявляється в подразненні дихальних шляхів, запамороченні, головному болі, шумі у вухах, психічному збудженні, непритомному стані [2].

Оксиди сірки у звичайних умовах являють собою безбарвний газ із різким задушливим запахом. Він важчий за повітря більше ніж у 2 рази, тому і осідає. Діоксид сірки отруйний, хоч і значно менше, ніж сірководень. Виявлення вмісту його в повітрі в кількості 0,33 мг/дм³ і більше викликає задишку та запалення легенів [7].

Основним джерелом викиду оксиду азоту – є спалювання органічного палива. Азотовмісні речовини активно приймають участь в фотохімічних реакціях, виробляючи озон. Найважливішою проблемою є порушення товщини озонового прошарку, на зменшення якого впливають неповні (валентні) оксиди азоту, що вступають в реакції окислення [6].

Сірководень – це безбарвний, дуже отруйний та горючий газ з характерним неприємним запахом тухлих яєць. Запах відчувається за таких низьких концентрацій, як 0,00047 часток на мільйон, але має властивість пригнічувати нюх. Цей газ в більшості утворюється в результаті вулканічної активності, входить до складу природного газу і деяких вод. Людське тіло також виробляє

					ВМ61.100004.001 ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

невелику кількість H_2S як сигнальної молекули. Сірководень утворюється в невеликих кількостях в деяких клітинах ссавців і має декілька біологічних сигнальних функцій. (Тільки два інших газу мають таку ж функцію: оксид азоту (NO) і оксид вуглецю (CO)). Газ утворюється з цистеїну під впливом ферментів. Він діє як розслаблювач гладких м'язів і, як судинорозширювач, а також бере активну участь в діяльності мозку [5] і полегшує довгострокове потенціювання, яке бере участь у формуванні пам'яті. Сульфати виводяться із сечею [7].

Завдяки своїм ефектам близький до окису азоту, сірководень в наш час визнаний як потенційний захисник від серцево-судинних захворювань. Хоча обидва оксиду азоту і сірководень, як було сказано розслабляють кровоносні судини, їх механізми дії різні: в той час як NO активує фермент, H_2S активує АТФ-чутливі калієві каналці у клітинах гладкої мускулатури. Як оксид азоту, сірководень бере участь у розслабленні гладких м'язів [7]. При хворобі Альцгеймера кількість сірководню в мозку сильно знижується.

Аміак — це безбарвний газ з різким задушливим запахом, який легший за повітря та добре розчинний у воді. Його одержують каталітичним синтезом з азоту і водню під тиском. Аміак використовують переважно для виробництва азотних добрив, вибухонебезпечних речовин та азотної кислоти. Рідкий аміак використовують в холодильних установках. Водний розчин аміаку (нашатирий спирт) застосовується в медицині. Це один з найважливіших продуктів сучасної хімічної промисловості. Головна галузь його застосування - виробництво нітратної кислоти, а також азотних добрив. Також аміак використовують для виробництва багатьох інших хімічних продуктів. Зріджений аміак і водний розчин аміаку застосовують безпосередньо як азотне добриво [8].

Небезпека хлору полягає в тому, що під час взаємодії такої речовини як хлористий газ зі слизовими оболонками людини - утворюється соляна кислота, яка може викликати набряк легенів, ураження слизових покриттів очей і носа, а також шкірні роздратування. При вдиханні високих концентрацій хлору можливий навіть смертельний результат - потрапляючи в легені, він обпікає леге-

					ВМ61.100004.001 ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

неву тканину і стає причиною задиху. Існують дослідження, що хлор, як і продукти його взаємодії з іншими речовинами, збільшує ризик серцево-судинних захворювань (найбільш гострої проблеми нашого століття та кінця попереднього століття), алергічних реакцій та викидів у вагітних жінок [7].

1.8 Методи вимірювання домішок у повітрі

Контроль концентрацій газоподібних і пароподібних домішок виконують як за допомогою лабораторних методів, так і за допомогою газоаналізаторів.

Протягом багатьох років визначення кількості газоподібних забруднюючих речовин в атмосфері або потоках газу проводили за допомогою приладів, які застосовують принцип хімічного аналізу розчинів [1]. Внаслідок швидкого зростання останнім часом робіт з контролю забруднення повітря такі методи не змогли більше задовольняти вимогам газового аналізу. Часто виникає необхідність безперервного аналізу проб газу у віддалених місцях, що неможливо зробити за допомогою звичайних лабораторних методик. Потреба в приладах для аналізу вихлопних газів автомобілів також призвела до заміни апаратури, що випускається.

У даний час випускають велику кількість приладів-газоаналізаторів, які використовують для відбору і аналізу проб повітря і газопотоків, а також газів. Газоаналізатори дозволяють здійснювати швидкий і безперервний контроль вмісту шкідливих домішок у промислових викидах і в атмосферному повітрі.

Задля визначення газоподібних і пароподібних домішок використовують такі методи і пристрої [5]:

- Калориметричний;
- Оптичні методи;
- Полум'яно-іонізаційні газоаналізатори;

- Хроматографічний метод;
- Масспектрометрія;
- Електрохімічні методи;
- Термокондуктометричні газоаналізатори;
- Термохімічні газоаналізатори.

Для ілюстрації основних принципів роботи різноманітних приладів, можна навести деякі системи їхньої роботи.

1.8.1. Колориметричний метод

Газоаналізатори, працюють на колориметричному методі за наступним принципом: розчинення газу у водному середовищі (або поглинання твердим середовищем). Реакція в цьому середовищі з утворенням фарбування й вимір інтенсивності цього фарбування фотоелектричним методом. Такі прилади застосовують для виміру концентрацій SO_2 , NO , NO_2 і суми оксидів в атмосфері, змісту NO_x і CO у промислових викидах і у вихлопних газах автотранспорту. Ці прилади вимагають ретельного нагляду, і виміри з їхньою допомогою піддаються перешкодам супутніх забруднюючих речовин в атмосфері.

Однією з модифікацій колориметричного методу є використання аналізаторів з паперовою стрічкою. В основі виміру SO_2 , NO_x або CO лежить хімічна реакція, що протікає на смужці паперу, просоченої відповідними реактивами. У результаті цієї реакції утворюється пофарбована пляма, інтенсивність якої вимірюється фотоелектричним методом. Подача паперової стрічки за допомогою мотора, що обертає паперовий рулон, дозволяє проводити безперервні виміри[5].

					ВМ61.100004.001 ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

1.8.2. Лінійно-колористичний метод

Для експресного визначення домішок у газі використовують універсальні газоаналізатори спрощеного виду (УГ-2; ГХ-2), робота яких заснована на використанні лінійно-колористичного методу аналізу. При просмоктуванні газу через індикаторні трубки заповнені речовиною-поглиначом, відбувається зміна кольорів індикаторного порошку. Довжина пофарбованого прошарку пропорційна концентрації речовини, яку ми досліджуємо. Газовий аналізатор моделі УГ-2 дозволяє визначати концентрацію 16 різних газів і парів з погрішністю, що не перевищує відхилення на $\pm 10\%$ від верхньої межі шкали.

1.9 Принцип дії газоаналізаторів

Принцип дії оптичних газоаналізаторів засновано на особливостях поглинання та випромінювання окремих компонентів із суміші газів. Це - інфрачервоні, хемілюмінесцентні, флуоресцентні та інші газоаналізатори [6].

Інфрачервоні газоаналізатори працюють за принципом селективного поглинання інфрачервоного випромінювання. Газ поглинає енергію довжин хвиль певного діапазону в інфрачервоній області спектра, інші хвилі проходять і при цьому не поглинаються, тобто прилад на них не реагує. Наприклад, область поглинання окису вуглецю лежить між 4,5-5,0 мкм.

Інфрачервоний детектор складається із двох камер однакового обсягу та розділених гнучкою металевою діафрагмою; в одній із них перебуває нерухома металева головка. Головка і діафрагма формують конденсатор із мінливою ємністю. Кожна із нижніх камер містить однакові кількості газу. Інфрачервоне випромінювання від двох однакових джерел попадає у дві окремі ідентичні кювети. Одна із кювет, яку називають кюветою порівняння, заповнена інертним

					ВМ61.100004.001 ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

газом, тобто азотом, інша кювета, яку називають робочою, являє собою циліндричної форми ємність, через яку проходить аналізований газ[5]. При наявності в робочій кюветі газу, що цікавить нас (який ми і досліджуємо), він поглинає інфрачервоне випромінювання в кількості, яка прямо пропорційна концентрації молекул цього газу. У кюветі порівняння поглинання інфрачервоного випромінювання не відбувається. Після проходження променя інфрачервоного світла через камеру порівняння і робочу камеру детектора випромінювання поглинається газом у цих камерах. Поглинання енергії від випромінювання призводить до нагрівання газу у камері порівняння детектора, а також до більш високої температури, чим газу в робочій камері.

Так як обидві камери цього детектора загерметизовані, у камері порівняння підвищується тиск у порівнянні з робочою камерою, що призводить до прогинання діафрагми. В результаті цього виникає зміна ємності конденсатора, яка прямо пропорційна концентрації вимірюваної речовини в робочій кюветі. Між джерелом інфрачервоного випромінювання й кюветами розміщено обтюратор, що створює змінний сигнал для поліпшення характеристик електронної схеми[5]. Для виключення інфрачервоного випромінювання тих довжин хвиль, які не можуть поглинатися обумовленим газом, застосовують фільтри. Тобто, якщо у потоці одночасно присутні два або більше газів, що поглинають інфрачервоне випромінювання, то для їхнього виміру варто використовувати два різні вимірювальні осередки, а не один.

Хемілюмінесцентні методи працюють за принципом реєстрації люмінесцентного випромінювання, яке виникає при хімічній реакції аналізованої речовини з іншим компонентом.

Флуоресцентні методи – засновані на реєстрації флуоресцентного випромінювання молекул аналізованого газу, що виникає під впливом збудливого ультрафіолетового випромінювання. Для прикладу збудження молекул SO₂ відбувається в області спектра 220-240нм.

					ВМ61.100004.001 ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

1.10 Принцип дії полум'яно-іонізаційних газоаналізаторів

Полум'яно-іонізаційні газо-аналізатори (детектори, ПД) – концентрація аналізованого компонента визначається по іонізаційному струму, що утворюється у водневому полум'ї внаслідок іонізації молекул органічних сполук [5]. У полум'яно-іонізаційному детекторі газоподібна проба вводиться в полум'я, яке одержується при горінні водню або в повітрі чи в кисні. Водень подається через металевій капілярній трубці, а повітря обтікає її зовні. Полум'я знаходиться між електродами, до яких прикладена напруга в кілька сотень вольтів [6]. При горінні одного водню утворюється лише дуже невелика кількість іонів. Коли в потік водню вводиться газоподібна проба, що містить вуглеводні, у полум'ї утворюються іони, що направляються в напрямку до позитивного колекторного електроду. Виникаючий у результаті цього постійний струм пропорційний кількості іонів, що утворилися. Кількість іонів пропорційна кількості атомів вуглецю в полум'ї. ПД чутливий лише до сумарної кількості присутніх вуглеводнів і не дозволяє розрізняти речовини. Коли необхідно визначити кількість окремих вуглеводнів, для їхнього поділу можна використати газову хроматографію (хроматографічний метод)[5].

1.11 Розповсюджені методи дослідження газоподібних речовин

Хроматографічний метод заснований на розподілі газових сумішей на окремі компоненти при русі вздовж поверхні сорбенту, наступної ідентифікації компонентів і визначення їхнього змісту в суміші. Хроматографи відносяться до аналізаторів, які можуть проводити одночасно як якісний, так і кількісний аналіз газоподібних і рідких середовищ. Кількісно визначення змісту домішок проводять, наприклад, з використанням полум'яно іонізаційного детектора.

					ВМ61.100004.001 ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

Термін «хроматографія» застосовують як загальна назва для ряду методів, які використовуються головним чином з метою поділу летучих речовин для подальшого аналізу [5].

Цей метод також може бути використаний для визначення змісту будь-яких газів з концентрацією до 10^{-5} до 10^{-6} %. Хроматографи – це прилади періодичної дії, тривалість аналізу яких 10-20 хвилин і більше. Використовуючи невеликий скляний шприц, проба вводиться з одного кінця довгої вузької хроматографічної колонки. Ця колонка чи трубка (довжиною від 0,9 до 3 м та діаметром від 0,25 до 50 мм) вміщує в собі нелетучу речовину, що має назву нерухома фаза, що вибірково затримує обумовлені речовини-домішки. Нерухомою фазою може бути або адсорбент (тверда речовина), або абсорбент (рідина) [5].

У заповнених колонках міститься рідина, що нанесена на твердий інертний носій, в той час як у капілярних колонках вона покриває внутрішню поверхню стінок трубки. Інертний газ або газ-носіє, що не затримується нерухомою фазою, проходить з постійним значенням швидкості через колонку. Функція газу-носія полягає у пересуванні аналізованої проби по колонці. Газ-носіє, що виходить з колонки, виносить компоненти проби, що з'являються на виході в різний час залежно від терміну затримання їх у колонці. Задля індикації присутності цих компонентів у газі-носії застосовується детектор (наприклад ПИД). Вихідний сигнал з детектора подається на стрічковий самопис. Графічне подання результатів (хроматограма) являє собою звичайно пряму лінію, на яку накладається ряд піків. Їхнє місце розташування або час появи вказує на природу компонентів у пробі газу, а висота або площа піків є мірою кількості цих компонентів у пробі. При газовому аналізі необхідно підтримувати постійне значення витрати газу-носія. Колонка повинна бути відкалібрована для того, щоб знати час виходу кожної речовини[5].

					ВМ61.100004.001 ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

1.12 Принцип дії мас-спектрометрів

Мас-спектрометри є вимірювальними приладами, які розділяють іони за часом прольоту за допомогою електричних і магнітних полів. По отриманому маспектрові визначають масу і відносний вміст компонентів у досліджуваній речовині. Мас-спектрометри можуть проводити як якісний, так і кількісний аналіз. Мас-спектрометри є більш складними приладами, ніж хроматографи і, на жаль, для безперервної роботи вони непридатні [6].

1.13 Інші методи дослідження газоподібних речовин

Електрохімічний метод дослідження газоподібних речовин.

Електрохімічні методи використовують залежність вихідного сигналу від електрохімічних явищ, які протікають в електродних системах при наявності аналізованого компоненту. Електрохімічні методи дуже широко застосовуються в аналітичній хімії і (залежно від вимірюваного параметра) поєднують потенціометрію, вольтамперометрію, кулонометрію, кондуктометрію, електрографію.

Термокондуктометричний метод дослідження газоподібних речовин.

Термокондуктометричні газоаналізатори – використовують відмінність теплопровідності аналізованого компоненту від теплопровідності інших компонентів. Необхідністю є те, щоб теплопровідності всіх інших компонентів були практично рівні, тобто щоб по теплопровідності суміш була наближеною до бінарної. Для цього необхідна спеціальна підготовка проби: видалення неаналізованих компонентів (поглинання, спалювання), що може істотно впливати на результати виміру.

Термохімічні газоаналізатори для дослідження газоподібних речовин

					ВМ61.100004.001 ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Термохімічні газоаналізатори – використовують теплові ефекти хімічних реакцій, застосовуються для аналізу горючих компонентів газової суміші.

Як ми бачимо з таблиці 1, де наведені основні забруднювачі повітря, найбільш масштабним забруднювачем повітря є запиленість. Внаслідок цього вкрай актуальним є вимірювання кількісного показника запиленості повітря.

1.14 Запиленість як основний забруднювач атмосферного повітря

Розглянемо проблему найбільшого забруднювача атмосферного повітря кінця 20-го та початку 21-го століть – запиленості, тобто засмічення повітря твердими частинками диму та промислового пилу. Аналіз, наведений у першому розділі показав масштаби забруднення повітря пилом та гостроту цієї проблеми на сьогодні.

1.15 Найпоширеніші методи вимірювання пилу в атмосферному повітрі

До найпоширеніших методів вимірювання пилу в атмосферному повітрі відносять електродинамічний, трибоелектричний, гравіметричний та фотометричний.

1.14.1 Електродинамічний метод вимірювання пилу

Електродинамічний метод полягає у вимірюванні на вимірювальному електроді індукції (загального заряду частинок), що проходять неподалік від зонда. Зазвичай цей метод використовують задля вимірювання концентрації пилу

					ВМ61.100004.001 ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

на таких підприємствах як виробництво скла та металургія. Цей метод вимірювання недосконалий, так як не є результативним при вимірюванні низьких концентрацій пилу в діапазоні 0-15 мг/м³.

1.14.2 Трибоелектричний метод вимірювання пилу

Трибоелектричний метод являється більш досконалим і використовується зазвичай в області моніторингу фільтрів, а також для вимірювання якісних характеристик пилу в вихлопних газах. Перевагою пристроїв, що використовують трибоелектричний метод є простота пристрою як у структурі пристрою, так і у застосуванні його. Також вагомою перевагою є низька вартість таких приладів. Принцип роботи цього методу полягає в тому, що два матеріали вводять в контакт за допомогою тертя, внаслідок чого між ними відбувається обмін електронами. Через це виникає різниця електричних зарядів. Таким чином, на поверхнях, що знаходяться на малій відстані одна від одної, розвиваються позитивний і негативний заряд. Тобто тут і застосовується обмін зарядами між вимірювальним зондом і частинками пилу. Вихідний сигнал приладів, що працюють на трибоелектричному методі, залежить від електричних та механічних характеристик пилу. А найбільший вплив на вихідний сигнал має швидкість потоку. В результаті, ми можемо зробити висновок, що трибоелектричний заряд прямо пропорційний вмісту пилу в газовому потоці, тобто запиленості.

1.14.3 Гравіметричний метод вимірювання пилу

Гравіметричний метод є нічим іншим як сукупністю прийомів та правил визначення маси частинок пилу в одиниці об'єму повітря. Він полягає у зважуванні пилових частинок, які до цього виділяються із відомої кількості запиленого повітря. Пилові частинки відділяються за допомогою протягування дослі-

					ВМ61.100004.001 ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

джуваного об'єму повітря крізь фільтр, що затримує частинки пилу (пилинки). Збільшення маси фільтру після експерименту і є тією кількістю пилу, що містяться в досліджуваному об'ємі повітря.

Концентрацію пилу C_n [10] визначають за формулою:

$$C_n = \frac{M_2 - M_1}{V},$$

де M_1 – маса фільтру до експерименту, [мг];

M_2 – маса фільтру після експерименту, [мг];

V – об'єм пропущеного повітря крізь фільтр, [м³].

Перевагами гравіметричного методу є висока точність (0,02-0,006%), можливість виміряти вміст та концентрацію окремих компонентів пилу. Проте, є важливий та вагомий недолік в застосуванні цього методу – низька швидкодія приладу. Через цей недолік приладу, що працюють, використовуючи гравіметричний метод, замінюють на прилади, що застосовують більш сучасні методи дослідження. До цих методів відносяться фізико/експресно -хімічний методи аналізу. Можемо зробити висновок, що ваговою умовою для прикладання до дослідження вмісту пилу в повітрі гравіметричного методу є незмінна та стабільна концентрація пилу в повітрі протягом часу вимірювання.

1.14.4 Фотометричний метод вимірювання пилу

Фотометричний метод полягає у вимірюванні маси осадженого пилу на фільтр і подальшого визначення оптичної щільності цього осаду. Головною особливістю цього методу є фотометрування досліджуваного осадженого пилу. Показником оптичної щільності є результат вимірювання розсіювання або поглинання світла при проходженні його крізь цей пиловий осад.

Оптична щільність пилового шару визначається за формулою:

$$I = I_0 \exp(-\varepsilon CI),$$

де I_0 – інтенсивність початкового світового потоку (до проходження крізь пиловий осад);

C – концентрація пилу, що осів на фільтрі за час вимірювання;

ε – показник поглинання світла, що припадає на одиницю концентрації пилового осаду;

l – товщина шару пилового осаду.

Оптична щільність пилового осаду D визначається за формулою:

$$D = \lg \frac{I_0}{I} = 0,434 \cdot \varepsilon \cdot C \cdot l.$$

Так як під час вимірювання, при осаджуванні пилу на фільтр у вимірювальному пристрої змінюються товщина l та концентрація C прошарку пилу, то ми можемо визначити тільки сумарну величину Cl , що і є поверхневою концентрацією $C_{\text{пов}}$ пилового осаду на цьому фільтрі, тобто значення $C_{\text{пов}}$ еквівалентне значенню Cl . Вважаючи, вищенаведений факт, можемо вважати, що:

$$D = 0,434 \cdot \varepsilon \cdot C_{\text{пов}},$$

тобто приріст оптичної щільності пилового прошарку прямо пропорційний зміні поверхневої концентрації.

Поверхнева концентрація визначається за формулою:

$$C_{\text{пов}} = \frac{D}{0,434 \cdot \varepsilon}.$$

Також ця формула може бути інтерпретована із застосуванням $\tau = \frac{I}{I_0}$. З

оптичною щільністю це значення пов'язане наступним чином: $D = \lg\left(\frac{1}{\tau}\right)$. Підс-

тавивши це значення в формулу (1.9), отримаємо:

$$C_{\text{пов}} = \frac{\lg \frac{1}{\tau}}{0,434 \cdot \varepsilon}.$$

Використовуючи фотометричний метод, ми можемо шляхом вимірювання розсіяного світла концентрацією пилу. Тож яка залежність між інтенсивністю розсіяного світла та пилом, що осів на фільтрі. Вважатимемо, що пилінки діамет-

ром d , а площа проекції на фільтр цієї пилинки дорівнює $a = \pi d^2$. Допустимо, що на поверхні фільтра N частинок пилу, та впровадимо поняття коефіцієнту наповненості поверхні фільтру W . Тоді матимемо рівняння:

$$W = S_{\phi} - \frac{S_N}{S_{\phi}} = (1 - \frac{a}{S_{\phi}})N,$$

де S_N – площа фільтра, яка заповнена N частинками.

Зважаючи на те, що $S_{\phi} \gg a$ та для фільтра округлої форми $D_{\phi} S_{\phi} = \pi D_{\phi} \frac{2}{4}$,

маємо рівняння:

$$W = (1 - \frac{a}{S_{\phi}})N = \exp(-a \frac{N}{S_{\phi}}) = \exp(-(d D_{\phi})^2 \cdot N).$$

Кількість частинок пилу, осівших на фільтрі, обчислюється за формулою:

$$N = \frac{6 \cdot VC}{\pi \cdot \rho_{\phi} \cdot d^3},$$

де V – об'єм повітряного потоку, що пройшов крізь фільтр.

Для коефіцієнту незаповненості фільтра існує така формула:

$$W = \exp(\frac{-6 \cdot C \cdot V}{\pi \cdot d \cdot D_{\phi} \cdot 2 \cdot \rho_{\phi}}).$$

Отже, масова концентрація пилу визначається за формулою:

$$C = \frac{\pi d D_{\phi} \rho_{\phi} \ln(\frac{1}{W})}{6V}.$$

Поверхнева концентрація визначається за формулою:

$$C_{\text{нов}} = CV / S_{\phi} = \frac{2}{3} \rho_{\phi} d \ln(\frac{1}{W}).$$

Інтенсивність повітря, що розсіяне поверхнею фільтра визначається за формулою:

$$I_{\text{роз}} = I_{\text{роз.ф}} W + I_{\text{роз.п}} (1 - W),$$

де $I_{\text{роз.ф}}$ – інтенсивність світла, розсіяного чистим фільтром;

$I_{\text{роз.п}}$ – інтенсивність світла, розсіяного пиловим осадом на фільтрі.

Зіставляючи формули (1.16) та (1.17) ми отримуємо:

					ВМ61.100004.001 ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

$$C_{\text{пов}} = \frac{2}{3} \rho_{\text{ч}} d \ln \left(\frac{I_{\text{роз.ф}} - I_{\text{роз.п}}}{I_{\text{роз}} - I_{\text{роз.п}}} \right).$$

Не дивлячись на всі переваги, основним недоліком фотометричного методу є те, що прозорість пилового осаду значно залежить від кольору частинок і їх оптичної щільності. Цю похибку можна значно зменшити, використовуючи довжину хвиль світла 0,36-0,39 мкм [11].

1.16 Існуюча структурна схема приладу для вимірювання запиленості повітря

Структурна схема приладу Аерокон (рис 1.5).

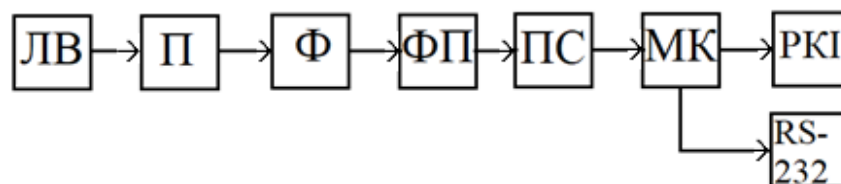


Рисунок 1.5 – Структурна схема приладу Аерокон, що працює на основі фотометричного методу вимірювання параметрів забруднення атмосферного повітря

До складу структурної схеми входять:

ЛВ – лазерний випромінювач;

П – повітря;

Ф – фільтр;

ФП – фотоприймач;

ПС – підсилювач;

МК - мікроконтролер;

PKI –рідкокристалічний індикатор;

RS-232 – роз'єм RS-232.

1.17 Принцип роботи приладу для вимірювання запиленості повітря

Прилад «Аерокон» працює за принципом розсіювання світла, тобто є приладом – фотометром.

Задля вимірювання концентрації пилу лазерний промінь напівпровідникового лазера класу 2А та потужністю 1мВт просвічує вимірювальну камеру. Частинки аерозолію, що знаходяться на шляху лазера, розсіюють світло. Прилад вимірює вихідне світло, що відбивається від всіх частинок та падаючий під кутом 45° відносно напрямку променю на світлоприймачеві.

Використовуючи кут розсіювання в комбінації з довжиною хвилі лазерного променю 630-680 нм, при вимірюванні інтегрально захоплюються лише частинки, що відповідають розміру пилинок, що проходять в трахеї, бронхи та легені людини. Таким чином завдяки цьому принципу вимірювання контролюється концентрація речовин респірабельних та трахеобронхіальних фракцій розміром від 0,2 до 10 мкм.

Внаслідок вимірювання отримують середньо інтегральні значення інтенсивності розсіюваного світла , значення якої прямо пропорційне концентрації аерозольних частинок. Перерахунок відносних значень аерозолію в масових значеннях концентрації, що відображаються на рідкокристалічному індикаторі приладу, відбувається автоматично.

За стандартними налаштуваннями приладу він має установку на вимірювання концентрацій аерозолів із середнім діаметром частинок 1 мкм. . Отже, для більш точного вимірювання концентрації пилу у повітрі, враховуючи розмір та колів пилинок, необхідно удосконалити вже існуючий прилад.

					ВМ61.100004.001 ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

При цьому коефіцієнт перерахунку відносних значень під час включення приладу встановлюється рівним одиниці.

За відомими експериментальними та аналітичними даними це налаштування забезпечує правильність вимірювання масової концентрації аерозолів в більшості практичних випадків.

Інформація про концентрацію аерозолів відображується на цифровому індикаторі. Якщо концентрація перевищує встановлений рівень, то спрацьовує звукова сигналізація. Роботою приладу керує мікропроцесорний контролер.

Прилад живиться від встроєного літій іонного акумулятора. В лабораторних умовах живлення приладу може здійснюватися від зарядного приладу або напряму від джерела струму.

До недоліків обраного приладу можна віднести неможливість відрізнити тип забруднювача та якість вимірювання масової концентрації в аерозольних частинок різного розміру. Тобто, наприклад, якщо колір пилинок буде чорний, то його буде добре розрізнити на білому тлі (колір якого формують RGB-світлодіоди) і, відповідно, буде зрозуміло тип забруднювача. Для прикладу таким забруднювачем може бути пил від вугільної шахти, якщо така присутня в межах дослідження.

Що стосується другого недоліку обраного приладу, то кожне джерело світла відтворює спектр у вигляді суміші електромагнітних хвиль, що мають різні довжини. Довжина електромагнітної хвилі визначає колір, бездомішковість хвиль обумовлює насиченість кольору, а їх амплітуда (висота) задає яскравість. Тобто в залежності від генерованого кольору RGB-світлодіодами буде змінюватись періодичність перевірки досліджуваного об'єму повітря. Наприклад, якщо сусідні пилинки будуть знаходитись на відстані 400 нм, то фіолетовий колір спектру зафіксує обидві пилинки, а червоний лише одну, що матиме значний вплив на кінцевий результат вимірювання.

Розглянувши вже існуючу схему приладу для вимірювання запиленості повітря та проаналізувавши її недоліки, удосконалимо її.

					ВМ61.100004.001 ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

2 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ВИМІРЮ- ВАННЯ ЗАПИЛЕНОСТІ ПОВІТРЯ

2.1 Структурна схема розроблюваної системи вимірювання запиленості повітря

Аналіз, наведений в першому розділі показав необхідність удосконалення вже наявної схеми для вимірювання запиленості повітря та розробки нової системи для вимірювання цього параметрів.

Удосконалена структурна схема інформаційно-вимірjuвальної системи (ІВС) для вимірювання запиленості повітря (рис. 2.1).

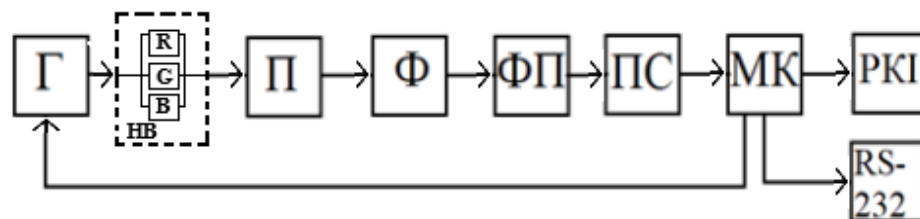


Рисунок 2.1 – Структурна схема системи вимірювання запиленості повітря

До складу структурної схеми входять:

Г – генератор напруги;

НВ –напівпровідниковий випромінювач;

П – повітря;

Ф – фільтр;

ФП – фотоприймач;

ПС – підсилювач;

МК - мікроконтролер;

PKI –рідкокристалічний індикатор;

RS-232 – роз'єм RS-232.

2.2 Опис структурної схеми

Вдосконалена структурна схема, що побудована на основі структурної схеми приладу «Аерокон». Працює вона також за принципом розсіювання світла, тобто є приладом – фотометром.

Задля вимірювання концентрації пилу на напівпровідниковий випромінювач подається значення затримки для вибору довжини хвилі, тобто контролювання спектра кольору, який просвічує вимірювальну камеру. Контролювання випромінюваного кольору забезпечується RGB-світлодіодами (детальніше про принцип їх роботи в пункті 3.2.1). Частинки аерозолю, що знаходяться на шляху випромінювача, розсіюють світло. Прилад вимірює вихідне світло, що відбивається від всіх частинок на світлоприймачеві.

Використовуючи кут розсіювання в комбінації з регульованої вхідними значеннями довжинами хвилі променю ми вирішуємо вимірювання концентрації пилинок різного розміру, тобто в розрахунки запиленості вже будуть прийматися будь-які розміри пилинок, а кінцевий результат, відповідно, буде точніше. Таким чином завдяки цьому принципу вимірювання контролюється концентрація речовин не тільки респірабельних та трахеобронхіальних фракцій розміром від 0,2 до 10 мкм, а й більшого та меншого розміру.

Внаслідок вимірювання отримаємо значення інтенсивності розсіюваного світла при попусканні кожного із кольорів спектра крізь фільтр, значення якої прямо пропорційне концентрації аерозольних частинок. Перерахунок відносних значень аерозолю в масових значеннях концентрації, що відображаються на рідкокристалічному індикаторі приладу, відбувається автоматично.

					ВМ61.100004.001 ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

За стандартними налаштуваннями приладу він має установку на вимірювання концентрацій аерозолів із середнім діаметром частинок 1 мкм. Із вдосконаленням вимірювання проводиться для більшого діапазону діаметра частинок, та для більшого спектру кольору пилинок.

При цьому коефіцієнт перерахунку відносних значень під час включення приладу встановлюється рівним одиниці.

За експериментальними та аналітичними даними це налаштування забезпечує правильність вимірювання масової концентрації аерозолів в більшості практичних випадків.

Інформація про концентрацію аерозолів відображується на цифровому індикаторі. Якщо концентрація перевищує встановлений рівень, то спрацьовує звукова сигналізація. Роботою приладу керує мікропроцесорний контролер, в особливості роботою генератора вхідних напруг. Згідно до забрудненості цього фільтра на фотоприймач потрапляє певна кількість світла, що і дає нам характеристику забрудненості повітря.

					ВМ61.100004.001 ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

3 РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ ВИМІРЮВАННЯ ЗАПИЛЕНОСТІ ПОВІТРЯ

3.1 Функціональна схема розроблюваної системи вимірювання запиленості повітря

Структурна схема показала, що функціональна схема повинна містити підсилювач з високим вихідним опором, приймач оптичного випромінювання та АЦП. Функціональну схему розроблюваної системи зображено на рис 3.1.

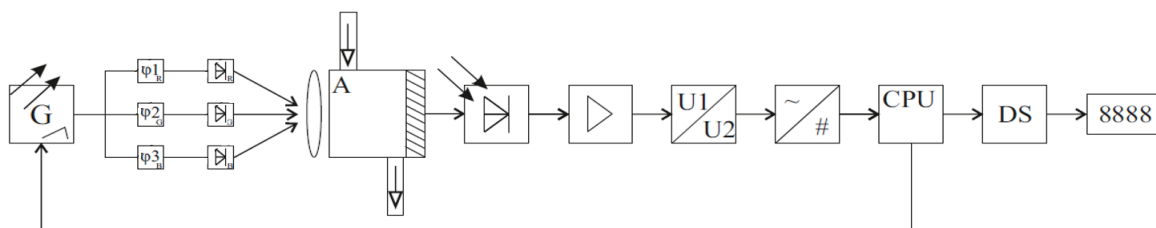


Рисунок 3.1 – Функціональна схема системи вимірювання запиленості повітря

3.2 Опис функціональної схеми

На функціональній схемі зображено основні вузли розроблюваної системи. Генератор прямокутних імпульсів керується за допомогою мікропроцесорного контролера, в особливості роботою генератора входних напруг CPU. Далі з генератора отримуються три значення ϕ для кожного з діодів R-G-B, які проходять крізь них. Ці значення (значення ϕ) є показником затримки, з якою повинна тривати розгортка. Завдяки цій затримці обирається колір спектру, відповідно, змінюється довжина хвилі. Кожному кольору відповідає своя довжина і ча-

стота хвилі. Діапазони довжин хвиль та довжин частот кількох кольорів (рис 3.2).

Колір	Діапазон довжини хвиль, нм	Діапазон частот, ТГц
Фіолетовий	380—440	790—680
Синій	440—485	680—620
Блакитний	485—500	620—600
Зелений	500—565	600—530
Жовтий	565—590	530—510
Оранжевий	590—625	510—480
Червоний	625—740	480—400

Рисунок 3.2 – Діапазони довжини та частоти хвиль декількох кольорів

В залежності від затримки, що надходить з мікропроцесорного контролера отримується один із кольорів спектра. Кожному із кольорів притаманні свої діапазони довжини та частоти хвиль. Це означає, що «перевірка» повітря, що надходить до вимірювальної камери буде більш інформативна. Це зменшить похибку результату вимірювання, що залежить від розміру пилинок, відстані між ними та їх кольору. Тобто генератор прямокутних імпульсів забезпечує зміну випромінюваного RGB-світлодіодами кольору, відповідно до якого змінюється показник довжини хвиль.

Вихідне випромінювання надходить до вимірювальної камери, заповненої повітрям, що має вхід та вихід. Пилінки, проходячи крізь фільтр, осідають на ньому. Згідно до забрудненості цього фільтра на фотоприймач потрапляє певна кількість світла, що і дає нам характеристику забрудненості повітря.

Сигнал з фотоприймача передається на підсилювач, щоб зменшити похибку перетворювання. Постійний сигнал перетворюється у змінний сигнал з частотою, що визначається генератором, і амплітудою, яка пропорційна вхідній величині. Аналого-цифровий перетворювач перетворює аналоговий сигнал в

цифровий. Цифровий сигнал оброблюється мікроконтролером. Результат вимірювання подається на 7-ми сегментний індикатор.

3.2.1 Опис RGB-світлодіодів

Повнокольорові світлодіоди або RGB-світлодіоди, використовуються для індикації та створення динамічнозмінюваного за кольором світла (рис 3.3).



Рисунок 3.3 – Внутрішня будова RGB-світлодіода

Насправді RGB-світлодіод - це три одноколірних кристала суміщених в одному корпусі. Назва RGB розшифровується, як Red - червоний, Green - зелений, Blue - синій відповідно квітам, які випромінює кожен з кристалів (рис 3.4).

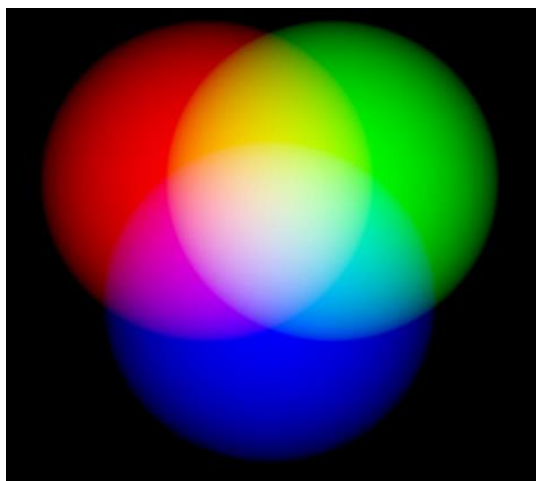


Рисунок 3.4 – Принцип змішування кольорів для отримання всіх відтінків

Ці три кольори є базовими, і на їх змішуванні формується будь-який колір, така технологія давно застосовується в телебаченні і фотографії, а ще давніше в електроніці для вимірювання параметрів повного спектра.

На рис. 3.5. зображено спектр світла – частину спектра електромагнітного випромінювання.

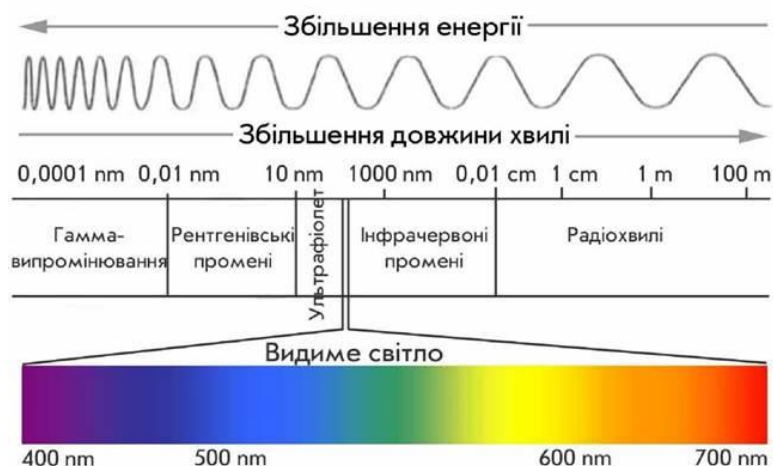


Рисунок 3.5 – Спектр випромінювання

Розсіяне світло залежить від довжини хвиль. Так у розсіяному потоці відносний вміст короткохвильового випромінювання буде значно більше ніж у вихідному.

Найчастіше похибка приладів, що застосовують фотометричний метод обумовлена неоднорідною оптичною щільністю та зміною кольору та розміру пилинок.

Цю похибку можна мінімізувати, змінюючи довжину хвиль випромінюваного світла, що проходить крізь пиловий потік та фільтр.

Відповідність частот випромінювання та кольорів спектру наведено в таблиці 2.

Таблиця 2 - Відповідність частот випромінювання та кольорів

Колір	Діапазон довжин хвиль, нм
Фіолетовий	380-440
Синій	440-485
Блакитний	485-500
Зелений	500-565
Жовтий	565-590
Помаранчевий	590-625

Кристали в RGB-світлодіоди можуть бути з'єднані за схемою:

- із загальним анодом;
- із загальним катодом;
- не з'єднані.

Один із типів з'єднання кристалів RGB-світлодіода (рис 3.5).

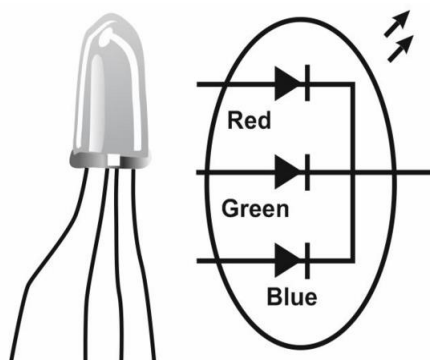


Рисунок 3.5 – З'єднання кристалів RGB-світлодіода

Не можна залишити без уваги і RGBW - світлодіоди, їх відмінність полягає в тому, що в їх корпусі є ще один кристал випромінює світло білого кольору. На Рис 3.6 RGB-світлодіоди зібрані за схемою з загальним анодом, що регулюють інтенсивність світіння. Ця регуляція здійснюється шляхом управління «-» (мінусом) джерела живлення (рис 3.6).

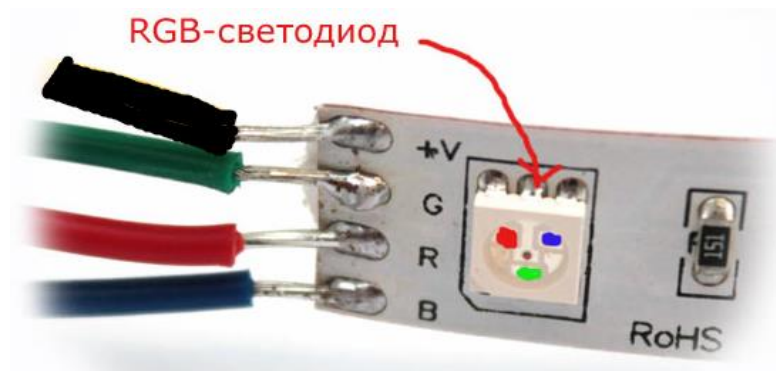


Рисунок 3.6 – Регулювання інтенсивності та спектра світіння RGB-світлодіода типу SMD 5050

Для зміни кольору RGB-стрічки використовуються спеціальні RGB-контролери - пристрої для комутації напруги, що подається на стрічку. Розпіновка RGB SMD5050 (рис 3.7).

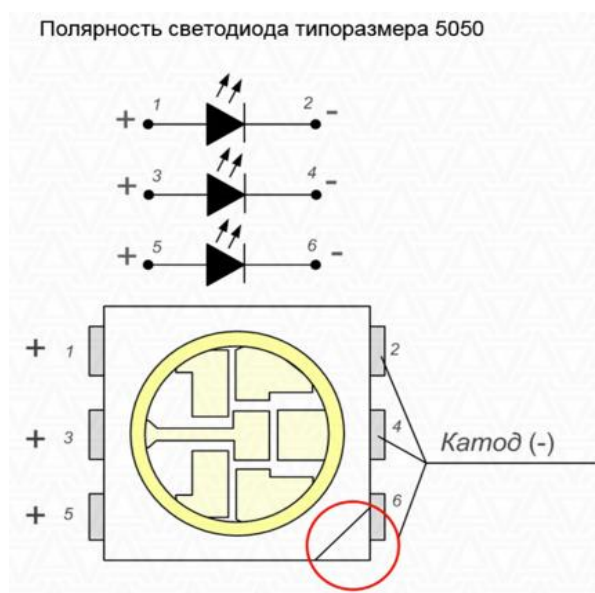


Рисунок 3.7 – Розпіновка RGB SMD5050

Система розташування виводів («розпіновка»), чи розводка виводів – це опис з кожного контактів електричного з'єднання (наприклад, роз'єму) в електронній апаратурі . Схема розташування виводів необхідна для таких задач як виготовлення і ремонт пристроїв, які містять декілька виводів. Розпіновка ідентифікує всі контакти з'єднання або виводи мікросхеми.

Розводка може бути представлена у вигляді креслення або у вигляді таблиці. Опис зазвичай включає номер контакту, коротке позначення та інші інформативні параметри. Розпіновка RGB-світлодіода (рис 3.8).

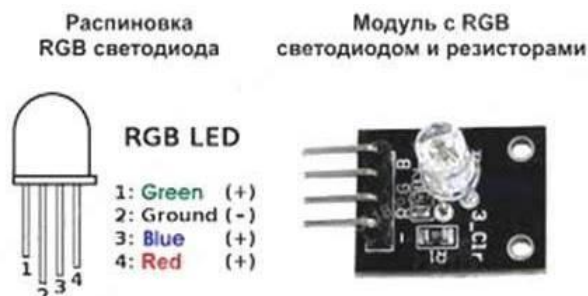


Рисунок 3.8 – Розпіновка RGB-світлодіода

Регулювання кольору здійснюється шляхом регулювання яскравості випромінювання кожним з кристалів.

RGB-контролер для стрічки працює за таким принципом: в ньому стоїть мікропроцесор, який управляє мінусовим виводом джерела живлення - підключає і відключає його від ланцюга відповідного кольору. Зазвичай в комплекті з контролером йде пульт дистанційного керування, можна також використовувати генератор вхідної напруги. Контролери бувають різної потужності, від цього залежить їх розмір.

Так як перетин доріжок на стрічці не дозволяє підключати послідовно з нею наступний відрізок стрічки, якщо довжина першого перевищує 5м, потрібно підключати другий відрізок проводами безпосередньо від РДБ-контролера.

Але можна вийти з положення, і не тягнути додаткових 4 дроти на 5 метрів від контролера і використовувати RGB-підсилювач. Для його роботи потрібно протягнути всього 2 дроти (плюс і мінус 12В) або жити ще один блок живлення від найближчого джерела 220В, а також 4 «інформаційних» дроти від попереднього відрізка (R, G і B) вони потрібні для отримання команд від контролера, щоб вся конструкція світилася однаково.

Отже, є два варіанти для управління RGB-світлодіодами:

1. Використовувати три незалежних ШІМ-контролера і регулювати яскравість кожного з кристалів вручну.
2. Використовувати мікроконтролер з ШІМ-виходами.

Для того, щоб керувати світлодіодом з Arduino використовують схему, яка зображена на рис. 3.9. Виводи R, G і B світлодіода підключаються до ШІМ-пінам Ардуіно. Схема керування (рис.3.9).

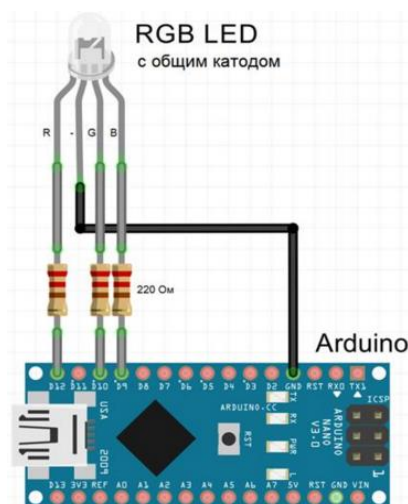


Рисунок 3.9 – Схема керування світлодіодом

Для управління потужної RGB-стрічкою схема не має принципових відмінностей, за винятком того, що підключається вона до мікроконтролеру через підсилювачі - транзистори.

Варіант схеми без використання Ардуіно і інших мікроконтролерів, за допомогою трьох драйверів CAT4101, здатних видавати струм до 1А (рис 3.10).


```

for(int r = 0; r < 256; r++){
    for(int g = 0; g < 256; g++){
        for(int b = 0; b < 256; b++){
            Log.i("Color",r+g+b+""");
        }
    }
}

```

Рисунок 3.2.2 – Псевдокод програми для перебору усіх можливих варіантів кольорів RGB-світлодіодів

Даний код перебирає усі можливі комбінації RGB-світлодіоду для отримання усіх існуючих відтінків RGB кольорів. Наприклад при початковій комбінації значень RGB(0,0,0) циклу, колір світлодіоду буде чорний і після завершення перебору, останнім значенням буде RGB(255,255,255) – білий колір.

4 РОЗРОБКА ТА РОЗРАХУНОК ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ

4.1 ПРИНЦИПОВА СХЕМА СИСТЕМИ ВИМІРЮВАННЯ ЗАПИЛЕНОСТІ ПОВІТРЯ

Принципова схема БОР (рис 4.1).

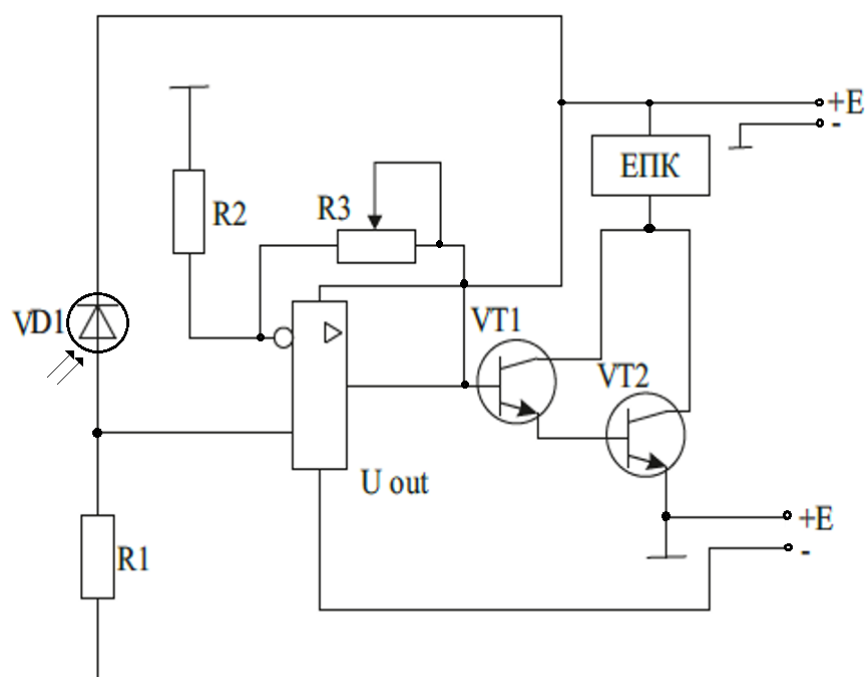


Рисунок 4.1 – Принципова схема буферного пристрою БОР (блок приймача) на основі фотодіода

До складу принципової схеми входять:

VD1 – приймаючий фотодіод;

R1, R2, R3 – резистори;

VT1, VT2 – транзистори;

ЕПК – електропневмоклапан;

Е – живлення.

4.1.2 Опис принципової схеми

При наявності струму керування в ланцюгу випромінювача зворотній світловий фотострум $I_{\text{св}}$ фотодіода створює падіння напруги на $R1$ таке, що $U_{R1} = I_{\text{св}} \cdot R1$. Значення напруги посилюється неінвертуючим ОП до рівня насичення транзисторів VT1, VT2. Внаслідок до обмотки керування підключається напруга живлення $+E$ – електромагніт ЕПК (електропневмоклапану) «увімкнений». Якщо струм керування в ланцюгу випромінювача відсутній, то зворотній темновий струм фотодіода практично дорівнює нулю, транзистори VT1, VT2 виходять із насичення, а напруга живлення $+E$ відмикається від обмотки керування – електромагніт ЕПК (електропневмоклапану) «вимкнений».

Вхідними даними для розрахунку буферного приладу БОР є електричні параметри навантаження.

Номінальна потужність навантаження: $P_H = 12 \text{ Вт}$;

Номінальне напруження на навантаженні: $U_H = 24 \text{ В}$.

Для розрахунку БОР застосуємо такі кроки:

1. Визначимо номінальний струм I_H обмотки керування ЕПК:

$$I_H = P_H / U_H = 12 / 24 = 0,5 \text{ А.}$$

2. Беремо напругу $E = U_H = 24 \text{ В}$.

3. Виберемо тип ОП. В якості ОП оберемо мікросхеми типу К 140 УД14 А, Б, В. Вихідний струм приймемо ОУ К 140 УД 14 $I_{\text{вих. оп}} = 3 \text{ мА}$.

4. Визначимо необхідний коефіцієнт підсилення струму β_0 транзистора на елементах VT1 та VT2.

$$\beta_0 = I_H / I_{\text{вих. оп}} = 0,5 / 3 \cdot 10^{-3} = 166,6.$$

5. Оберемо вихідні транзистори VT1 та VT2 виходячи з наступних міркувань.

					ВМ61.100004.001 ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

Максимально допустима потужність, що розсіюється колектором транзистора $P_{k \max}$ повинна бути більше потужності навантаження $P_{k \max} \geq (1,5 \dots 3,0)P_H$.

Максимально допустиме значення напруги колектор – емітер $U_{K-E.\max}$ повинно бути більше напруги живлення $E - U_{K-E.\max} \geq (2 \dots 3)E$.

Малопотужні транзистори мають малі допустимі значення колекторного струму, проте високий коефіцієнт передачі струму бази ($\beta \geq 20:100$). З іншого боку, потужні транзистори вихідного каскаду мають коефіцієнт $\beta_{\min} = 10 \dots 20$, а колекторний струм може сягати кількох ампер. Реальний коефіцієнт підсилення транзистора $\beta_P = \beta_1 \cdot \beta_2$ – відповідні коефіцієнти підсилення струму бази транзисторів схеми Дарлінгтона. При виборі транзисторів VT1, VT2 необхідно щоб розрахункове значення коефіцієнта передачі струму бази β_P було не менше заданого значення ($\beta_P \geq \beta_0$).

Тобто перший (вхідний) транзистор необхідно обирати меншої потужності, а кінцевий (вихідний) – більшої потужності.

Обираються транзистори VT1 та VT2:

VT1- КТ315Г: $\beta_1 = 20 \dots 150$; $I_{k.\max} = 100 \text{ мА}$; $U_{KE.\max} = 30 \text{ В}$;

VT2 – КТ819Г: $\beta_2 = 10 \dots 20$; $I_{k.\max} = 7 \text{ мА}$; $U_{KE.\max} = 40 \text{ В}$.

Для розрахунку приймаються мінімальні значення параметрів: $\beta_1 = 20$; $\beta_2 = 10$.

6. Визначається реальне значення коефіцієнта підсилення по струму β_P та проводиться порівняння з розрахованим значенням.

$$\beta_P = \beta_1; \beta_2 = 20 \cdot 10 = 200; \beta_0 = 166,6.$$

Так як параметр β_P більше β_0 транзистори VT1 та VT2 можуть обиратися не тільки по мінімальним значенням. Даний параметр можна опрати за довідником в заданому для транзистора діапазоні.

7. Для забезпечення насичення VT1 та VT2 напруга на виході ОП $U_{\text{вих.оп}}$ приймається в діапазоні $U_{\text{вих.оп}} = (1,5 \dots 3,0)V$.

8. Оберемо фотодіод.

Табл. 3

Технічні характеристики фотодіода АОД 101Б

Напруга із виходу фотовипромінювача	Вхідний струм фотовипромінювача	Коефіцієнт передачі по струму	Допустима зворотна напруга на фотодіоді	Зворотній темновий струм фотодіода
$U_{ВХ}, В$	$I_{ВХ}, А$	$K_1, \%$	$U_{ЗВ.НАПР.}, В$	$I_{ЗВ.СТР}, А$
1,8	10	1,5	100	8,0

9. Визначимо зворотній струм фотодіода $I_{ЗВ.СТР}$:

$$I_{ЗВ.оп} = K_1 \cdot I_{ВХ} / 100 = 0,15 \text{ мА.}$$

10. Прийmemo значення напруги на виході фотодіода відповідне до значення логічної одиниці $U_{R1}=1В$ и визначимо величину резистора $R1$:

$$R1 = U_{R1} / I_{ЗВ.оп} = 20 \text{ кОм.}$$

11. Визначимо необхідний коефіцієнт підсилення $K_{оп}$ операційного підсилювача.

Напруга на виході ОП $U_{ВІХ.оп}$ обирається в діапазоні $U_{ВІХ.оп} = (1,5...3)В$.

$$K_{оп} = 1 + R3/R2 = U_{ВІХ.оп} / U_{R1} = 3 / 1 = 3.$$

12. Визначимо співвідношення резисторів $R3/R2$:

$$R3/R2 = K_{оп} - 1 = 3 - 1 = 2.$$

13. Визначимо величину резистора $R3$ в ланцюгу негативного зворотного зв'язку ОП. Приймається $R2 = 10 \text{ кОм}$:

$$R3 = 2 \cdot R2 = 20 \text{ кОм.}$$

14. Визначимо струм зворотного зв'язку $I_{зз}$ через резистори $R3$ та $R2$:

$$I_{зз} = U_{ВНХ.ОП} / (R_3 + R_2) = 75 \cdot 10^{-6} \text{ А.}$$

15. Визначимо потужність резисторів R1, R2, R3:

$$P_1 = (I_{зв.оп})^2 \cdot R_1 = (0,15)^2 \cdot 10^{-6} \cdot 20 \cdot 10^3 = 0,45 \text{ мВт};$$

$$P_2 = I_{зз}^2 \cdot R_2 = (75)^2 \cdot 10^{-12} \cdot 10^4 = 56,25 \text{ мкВт};$$

$$P_3 = I_{зз}^2 \cdot R_3 = (75)^2 \cdot 10^{-12} \cdot 3 \cdot 10^3 = 168,75 \text{ мкВт};$$

16. Оберемо резистори по ДСТУ:

R1 – ОМЛТ – 0,125 – 20 к ± 5%;

R2 – ОМЛТ – 0,125 – 10 к ± 5%;

R3 – ОМЛТ – 0,125 – 30 к ± 5%.

4.2 Принципова схема та розрахунок підсилювача

Класична принципова схема неінвертуючого підсилювача (рис. 4.2).

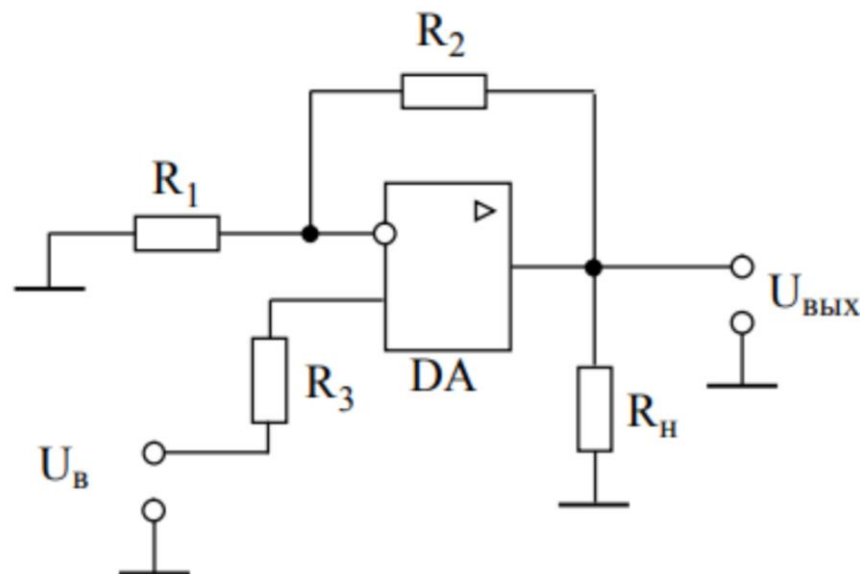


Рисунок 4.2.1 – Принципова схема неінвертуючого підсилювача

Для розрахунків використовуємо операційний підсилювач типу К140УД6.

Визначаємо суму опорів резисторів і при заданому навантаженні з умови обмеження вихідного струму операційного підсилювача на допустимому рівні:

$$i \cdot ((1/R_H) + (1/(R_1+R_2))) \leq I_{\text{вих.доп.}}$$

Вирішимо вираз відносно R_1 та R_2 .

$$I_{\text{вих.доп.}} - (U_{\text{вих.м.}}/R_H) = 4815 \text{ Ом.}$$

$$(U_{\text{вих.м.}}/i) \cdot i.$$

$$R_1+R_2 \geq i.$$

Коефіцієнт підсилення неінвертуючий підсилювача визначається відповідно до виразу:

$$K_{\text{п}} = 1 + (R_2 / R_1) = 2,2.$$

З виразу визначимо відношення опорів R_1 та R_2 і складемо систему рівнянь:

$$\begin{cases} R_1+R_2=4815; \\ \frac{R_2}{R_1}=1,2. \end{cases}$$

Вирішуючи систему рівнянь відносно R_1 , отримуємо, що $R_1= 2189 \text{ Ом}$, тоді $R_2 = 2627 \text{ Ом}$. Зі стандартного ряду вибираємо номінальні значення опорів $R_1=2,2 \text{ кОм}$, тоді $R_2 = 2,7 \text{ кОм}$.

Знайдемо струм, що протікає через резистори R_1 та R_2 :

$$I_{R1,2} = (U_{\text{вих.мак}} / (R_1+R_2)).$$

Підставивши чисельні значення параметрів в вираз, отримаємо:

$$I_{R1,2} = 2,245 \text{ мА.}$$

Відповідно до виразом визначимо потужність резисторів R_1 та R_2 :

$$P_{R1} = 0,011 \text{ Вт.}$$

$$P_{R2} = 0,014 \text{ Вт.}$$

З урахуванням ряду стандартних потужностей вибираємо резистор R_1 типу МЛТ і0,025 - і2,2 кОм $\pm 5\%$, а резистор R_2 типу МЛТ і0,025 - і2,7 кОм $\pm 5\%$.

З метою зменшення струмів і напруг зрушень в схему (рис.4.2.) включають резистор. Опір вибирають з умови рівності входних опорів по інвертує і неінвертуючого входів операційного підсилювача відповідно до вираження

$$R_3 = (R_1 \cdot R_2) / (R_1 + R_2) = 1212 \text{ Ом.}$$

Відповідно до стандартного ряду опорів приймаємо $R_3 = 1,3 \text{ кОм.}$

Так як ОП охоплений зворотним зв'язком і не споживає струм по входних ланцюгах, то струм, що протікає через R_3 надзвичайно малий. Тому потужність резистора приймаємо рівною 0,01 Вт, а резистор вибираємо типу МЛТ і 0,01 - і $1,3 \text{ кОм} \pm 5\%$.

Проведемо перевірку коефіцієнта посилення неінвертуючого підсилювача за виразом:

$$K_{\text{перев.}} = 1 + (2700/2200) = 2,227.$$

За рівнянням визначаємо похибку обчислень:

$$\Delta = ((k_u - k_{\text{перев.}}) / k_u) \cdot 100 = ((2,2 - 2,227) / 2,2) \cdot 100 = 1,24.$$

Похибка не перевищує 5%, тому знайдені значення резисторів можна вважати прийнятними.

Модель неінвертуючого підсилювача в програмному середовищі Electronics Workbench (рис 4.3).

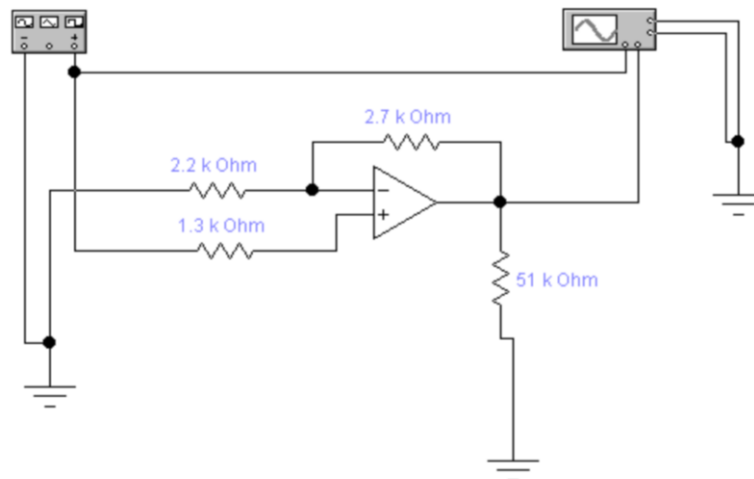


Рисунок 4.2.3 – Модель неінвертуючого підсилювача в програмному середовищі Electronics Workbench

Діаграми входної і вихідної напруги неінвертуючого підсилювача (рис 4.3).

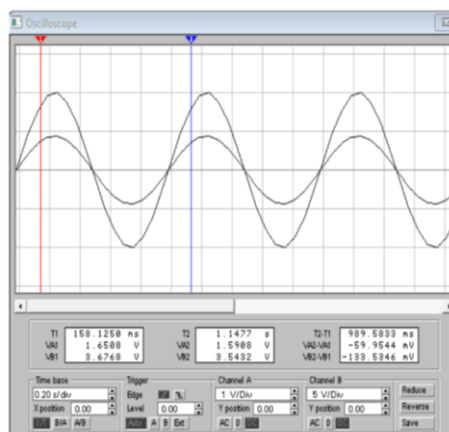


Рисунок 4.2.4 – Діаграми входної і вихідної напруги неінвертуючого підсилювача

З діаграм напруг слідує, що при входній напрузі інвертуючого підсилювача рівній $U_{вх.} = 1,6508 \text{ В}$, вихідна напруга становить $U_{вих.} = 3,6768 \text{ В}$.

Коефіцієнт посилення по напрузі неінвертуючого підсилювача визначається як відношення вихідної напруги до входного напруги:

$$K_u = U_{вих.} / U_{вх.} = 3,6768 / 1,6508 = 2,227.$$

Аналіз отриманих діаграм (рис. 4.4) показує, що коефіцієнт підсилення неінвертуючого підсилювача складає 2,227. Отже, параметри неінвертуючого підсилювача з заданим коефіцієнтом посилення знайдені вірно.

4.3 АЦП

Принцип роботи АЦП (рис 4.3.1).

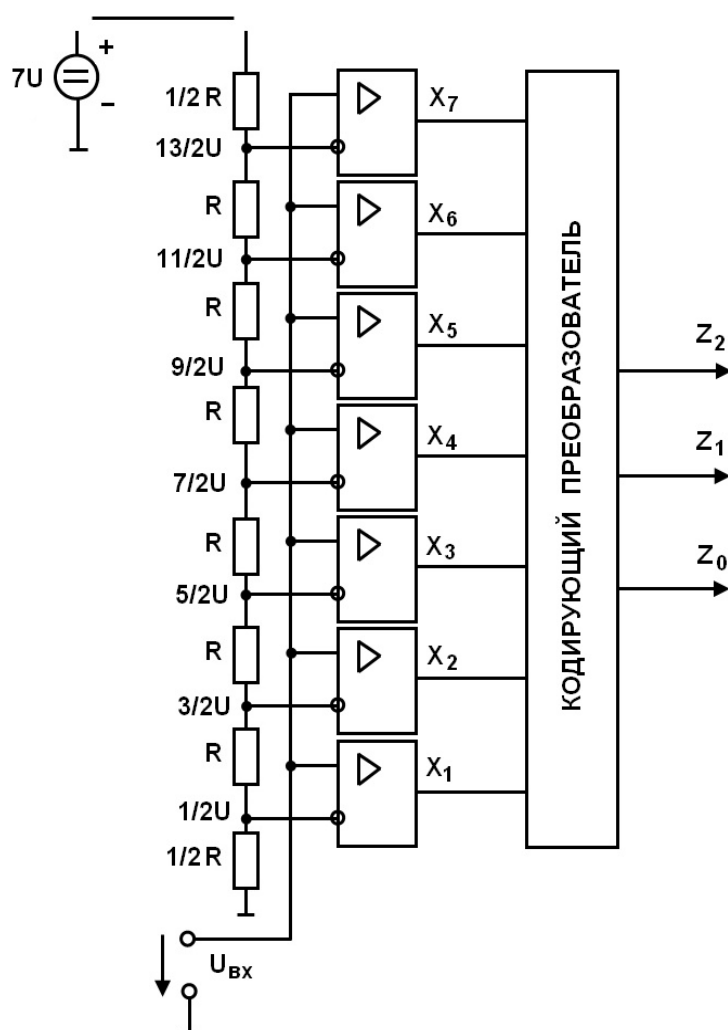


Рисунок 4.3.1 – Принцип роботи АЦП

Інтервал дискретизації заданого сигналу за часом визначається на основі теореми Котельникова за формулою:

$$\Delta t \leq \frac{1}{2 \bullet F_B},$$

де Δt - інтервал дискретизації.

$$F_B = \frac{\omega_c}{2 \bullet \pi},$$

Де F_B - верхнє значення частоти спектра сигналу.

Після розрахунку значення інтервалу дискретизації необхідно побудувати графік дискретизованого в часі сигналу. Тривалість імпульсних відліків прийняти рівною половині інтервалу.

Наступними етапами перетворення сигналу є квантування імпульсних відліків за рівнем і кодування. Розрядність коду визначається виходячи з динамічного діапазону квантуемого за рівнем імпульсних відліків.

Нижня межа діапазону визначається за формулою:

$$U_{MN} = \frac{U_{MAX}}{K},$$

де U_{MIN} - нижня межа динамічного діапазону, В;

U_{MAX} - верхня межа динамічного діапазону, В.

Для самого малого по амплітуді імпульсного відліку задається співвідношення миттєвої потужності сигналу і потужності шуму квантування:

$$\gamma = \frac{U_{MIN}^2}{P_{ш.кв.}},$$

					ВМ61.100004.001 ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

де $P_{ш.кв.}$ - потужність шумів квантування при розмірної шкалою квантування, Вт.

Відомо що:

$$P_{ш.кв.} = \frac{\Delta^2}{12},$$

де Δ - крок шкали квантування.

В свою чергу:

$$\Delta = \frac{U_{MAX}}{\eta_{KB}},$$

де Δ - крок шкали квантування;

η_{KB} - число рівнів квантування;

U_{MAX} - верхня межа динамічного діапазону, В.

З урахуванням цього:

$$\gamma = \frac{U_{MIN}^2 \cdot 12 \cdot \eta_{KB}^2}{U_{MAX}^2}$$

де η_{KB} - число рівнів квантування;

U_{MIN} - нижня межа динамічного діапазону, В;

U_{MAX} - верхня межа динамічного діапазону, В.

					ВМ61.100004.001 ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

Отримуємо:

$$\eta_{KB} = \sqrt{\frac{\gamma \cdot U_{MAX}^2}{12 \cdot U_{MIN}^2}} = \frac{U_{MAX}}{U_{MIN}} \cdot \sqrt{\frac{\gamma}{12}},$$

де η_{KB} - число рівнів квантування;

U_{MIN} - нижня межа динамічного діапазону, В;

U_{MAX} - верхня межа динамічного діапазону, В.

Відомо, що при використанні двійкового кодування число кодових комбінацій, яка дорівнює кількості рівнів квантування, визначається виразом:

$$\eta_{KB} = 2^m,$$

де m - розрядність кодових комбінацій.

Звідси:

$$m = \log_2 \eta_{KB}.$$

Тривалість елементарного кодового імпульсу визначається виходячи з інтервалу дискретизації і розрядності коду за формулою:

$$\tau_U = \frac{\Delta t}{2 \cdot m}$$

					ВМ61.100004.001 ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

Знайдемо верхнє значення кордону динамічного діапазону, при $h = 0.1$ В.

$$\tau = 0.3 \cdot 10^{-3}$$

$$F_B = \frac{\omega_c}{2 \cdot \pi} = \frac{1 \cdot 10^5}{2 \cdot \pi} = 15920 \text{ Гц.}$$

Інтервал дискретизації заданого сигналу за часом визначається на основі теореми Котельникова за формулою:

$$\Delta t = 3.142 \cdot 10^{-5} \text{ с.}$$

Для розрахунку нижньої межі діапазону підставимо $K = 22$, $U_{MAX} = 0,1$ В.

$$U_{MIN} = \frac{U_{MAX}}{K} = \frac{0.1}{22} = 4,545 \cdot 10^{-3} \text{ В.}$$

Підставивши в значення $g = 30$, $U_{MAX} = 0,1$ В, $U_{MIN} = 0.004545$ В,

таким чином отримаємо:

$$\eta_{KB} = \frac{U_{MAX}}{U_{MIN}} \cdot \sqrt{\frac{\gamma}{12}} = \frac{0.1}{0.004545} \cdot \sqrt{\frac{30}{12}} = 34,785.$$

Знайдемо крок шкали квантування:

$$\Delta = \frac{U_{MAX}}{\eta_{KB}} = \frac{0.1}{34.785} = 2,875 \cdot 10^{-3}.$$

					ВМ61.100004.001 ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

Знайдемо потужності шумів квантування за формулою:

$$P_{ш.кв} = \frac{\Delta^2}{12} = \frac{(2,875 \cdot 10^{-3})^2}{12} = 6,887 \cdot 10^{-7} \text{ Вт.}$$

Знайдемо розрядність кодових комбінацій:

$$m = \log_2 \eta_{кв} = \log_2 34,785 \approx 6.$$

Знайдемо тривалість елементарного кодового імпульсу за формулою:

$$\tau_U = \frac{\Delta t}{2 \cdot m} = 2,618 \cdot 10^{-6} \text{ с.}$$

Графік дискретизованого за часом сигналу (рис. 4.3.2).

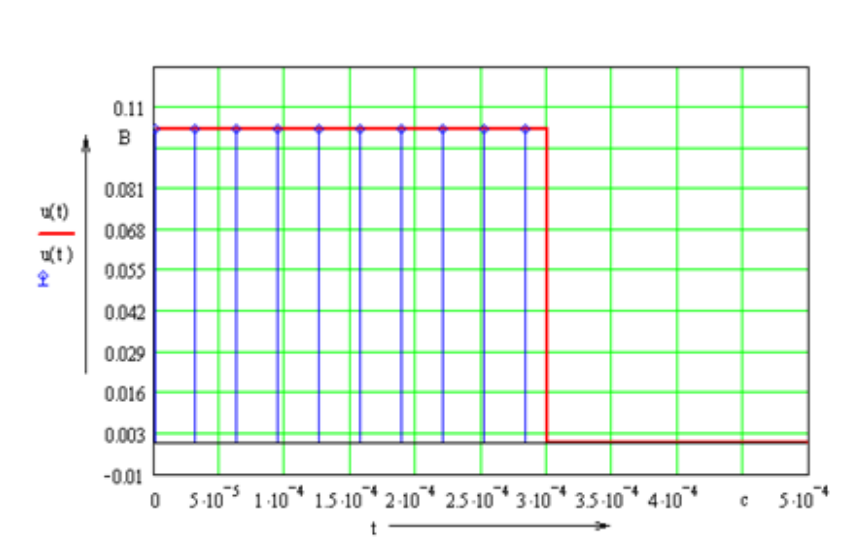


Рисунок 4.3.2 - Графік дискретизованого за часом

Уявімо наш сигнал в двійковому коді: 100010

На підставі проведених розрахунків підберемо АЦП: AD7858LAR

Технічні характеристики обраного АЦП:

- Розрядність - 12 біт.
- Число каналів – 8.
- Частота дискретизації - 100 кГц.
- Послідовний вихід $U_{П} = 35 \text{ В}$.

4.4 Індикація сигналу

Розрахунок можна провести за формулою:

$$R = (U_0 - U_{LED}) / I_{LED}, U_0,$$

Де U_0 - напруга на лінії живлення світлодіодів;

U_{LED} - пряма напруга, розрахована для світлодіодів (можна взяти в специфікації на індикатор);

I_{LED} - розрахунковий струм для світлодіода.

Наприклад, якщо специфікація на індикатор зеленого колір а, СС56-12GWA визначає напругу світлодіодів, як 2.2 Вольта, при струмі 20 мА.

					ВМ61.100004.001 ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

Специфікація допускає використання більш високого значення струму (до 140 мА) в імпульсному режимі - імпульсами не більше 0,1 мс (100 мікросекунд), зі шпаруватістю не менше 10. Проведемо розрахунок резистора для напруги живлення 5В і т ока 20мА при напрузі на світлодіоді 2 , 2 В:

$$R = (5V - 2.2V) / 0.02A = 140\Omega.$$

Не обов'язково точно витримувати опір. Підійдуть резистори найближчого доступного, але не меншого номіналу, наприклад 150, 160, або 180 Ом, тому що невелике зниження т ока не сильно замет але каже я на яскравості.

В залежності від варіанту підключення, слід обмежити струм також відповідно до характеристик використовуваних елементів, або, навпаки, припустимо більший струм в імпульсному режимі.

Схема прямого підключення МК з індикацією показано на рисунку 4.3

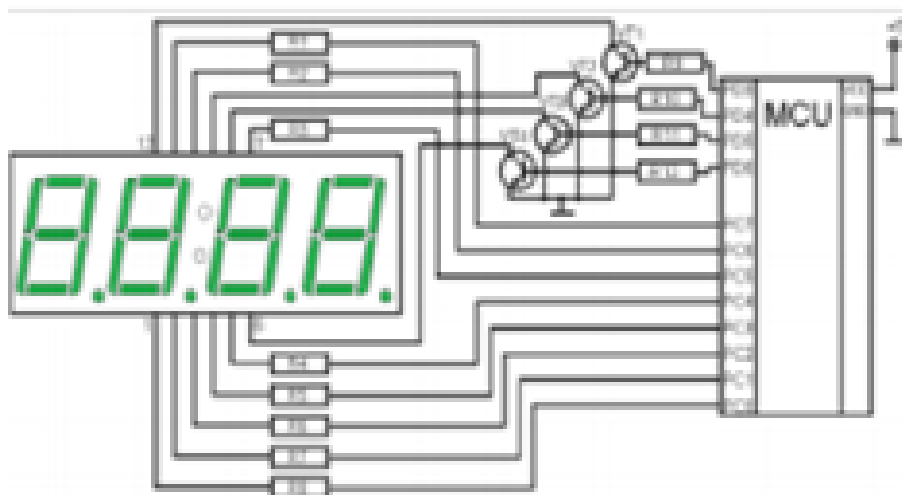


Рисунок 4.4 - Схема прямого підключення МК з індикацією

Вузьким місцем попередньої схеми є обмеження струму на виведення мікроконтролера, який є загальним для всіх восьми сегментів кожного розряду індикатора. Виходом є використання транзисторів працюють в режимі ключа.

Специфікація на мікроконтролер, як правило, вказує максимально допустимий сумарний струм з групи висновків, який не рекомендується перевищувати. Наприклад, для ATmega8 струм з виводів C0-C5 в сумі не повинен перевищувати 100мА, а з інших висновків - 200мА. Для ATmega32 в корпусі DIP струм з виводів порту А не повинен перевищувати 100мА, і з висновків інших портів - також 100мА.

У будь-якому випадку, рекомендується обмежитися струмом в 100мА на порт, тобто по 12,5 мА на кожен вивід. В цьому випадку номінал резисторів R1-R8 складе 224 Ом.

					ВМ61.100004.001 ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

5 РОЗРАХУНОК МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Похибка приладу буде визначатися похибками БОР, підсилювача і аналого-цифрового перетворювача:

$$\gamma_{\Sigma} = \gamma_{\text{БОР}} + \gamma_{\text{ОП}} + \gamma_{\text{АЦП.}}$$

5.1 Сумарна похибка каналу вимірювання

Вимірювальний канал складається з фотодіода, вхідного підсилювача. Згідно паспортних даних відносні похибки цих складових становлять: похибка фотодіода 0.5%, похибка вхідного підсилювача 5%. Розрахунки похибок приводяться в попередніх розділах.

Похибка АЦП.

Похибка аналого-цифрового перетворювача складається з двох частин: похибки квантування і похибки нелінійності.

Похибка квантування розраховується за формулою:

$$\gamma_{\text{кв.}} = (1 / (2^n)) \cdot 100 \%,$$

де n - розрядність аналого-цифрового перетворювача.

Так як при розрахунку принципової схеми було визначено, що розрядність аналого-цифрового перетворювача 16, то отримаємо:

$$\gamma_{\text{кв.}} = (1 / (2^n)) \cdot 100 \% = (1 / (2^{16})) \cdot 100 \% = 1,53 \cdot 10^{-3} \%$$

Похибка нелінійності аналого-цифрового перетворювача інтегрованого в мікроконвертер становить 1 ЕМР, таким чином:

$$\gamma_{\text{н. п.}} = 1,53 \cdot 10^{-3} \%$$

					ВМ61.100004.001 ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

Похибка нелінійності АЦП є мультиплікативною складовою основної зведеної похибки, а похибка квантування – адитивною складовою основної зведеної похибки.

Мікроконтролер не вносить похибки, так як має шістнадцяти розрядну машинну сітку і при обробці результату вимірювання не виробляється операцій усічення або відкидання молодших розрядів інформаційного слова.

Всі похибки є випадковими і розподілені по нормальному закону. При довірчій ймовірності $P = 0,95$ мультиплікативні складові похибки підсумовуються за формулою:

$$\sigma_{M\Sigma} = (\sum (\sigma_{MI})^2)^{(1/2)},$$

де:

$\sigma_{M\Sigma}$ - сумарне СКО мультиплікативної складової похибки;

σ_{MI} - СКО і-й мультиплікативної складової похибки.

СКО і-шої мультиплікативної складової розраховується за формулою:

$$\sigma_{MI} = \gamma_{MI} / 2,$$

Де γ_{MI} - мультиплікативна складова похибки і-го блоку.

СКО мультиплікативної похибки БОР:

$$\sigma_{MБОР} = \gamma_{MБОР} / 2 = 0,5/2 = 0,25.$$

СКО мультиплікативної похибки операційного підсилювача:

$$\sigma_{МОП} = \gamma_{МОП} / 2 = 0,25.$$

СКО мультиплікативної похибки від нелінійності АЦП:

$$\sigma_{МНЛ} = \gamma_{МНЛ} / 2 = 0,01/2 = 0,005.$$

Сумарне СКО мультиплікативної складової похибки:

$$\sigma_{M\Sigma} = (\sum (\sigma_{MI})^2)^{(1/2)} = (\sum (0,25)^2 + (0,25)^2 + 0,005^2))^{(1/2)} = 0,0353,$$

Сумарна мультиплікативної похибка розраховується за формулою:

$$\gamma_{\Sigma} = 2 \cdot \sigma_{M\Sigma} = 2 \cdot 0,0353 = 0,73\%,$$

Так як адитивних складових похибки всього одна, то сумарна адитивна похибка дорівнює: $1,53 \cdot 10^{(-3)} \%$.

Сумарна приведена похибка дорівнює:

					ВМ61.100004.001 ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

$$\gamma_{\Sigma} = \gamma_{M\Sigma} + \gamma_{A\Sigma} \cdot (T_H/T),$$

де T_H - номінальна температура;

T - температура в діапазоні вимірюваних температур.

При $T = T_H$ сумарна похибка дорівнює:

$$\gamma_{\Sigma} = \gamma_{M\Sigma} + \gamma_{A\Sigma} = 0,073 + 0,0153 = 0,0883\%,$$

Абсолютна похибка вимірювання розраховується за формулою:

$$\Delta t = (\gamma_{ABC} \cdot t_H) / 100\%$$

де Δt - абсолютна похибка вимірювання;

t_H - номінальне значення температури (300°C).

Звідси:

$$\Delta t = (\gamma_{ABC} \cdot t_H) / 100\% = \Delta t = (0,0883 \cdot 300^{\circ}\text{C}) / 100\% = 0,2649.$$

Додаткова похибка буде складатися з таких складових:

- додаткова похибка від нестабільності джерела живлення;
- додаткова похибка від впливу зовнішнього магнітного поля;
- додаткова похибка від зміни атмосферного тиску;
- додаткова похибка від зміни вологості навколишнього середовища.

Всі вищенаведені додаткові похибки калібрують перед вимірами крім похибки від нестабільності джерела живлення.

Калібрування приладу здійснюється через інтерфейс за допомогою комп'ютера.

					ВМ61.100004.001 ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

6 ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ

6.1 Загальні положення

6.1.1. При безпосередньому зіткненні людини зі струмоведучими частинами електроспоживачів, що знаходяться під напругою, виникає небезпека ураження організму людини електрострумом. Це зумовлено тим, що тіло людини має здатність проводити електричний струм.

6.1.2. Важливими факторами, що визначають наслідки ураження електричним струмом є:

- вид струму (перемінний чи постійний);
- частота (при перемінному струмі);
- величина струму (чи напруга);
- тривалість дії;
- шлях проходження струму через тіло людини;
- фізичний і технічний стан людини в момент дії на його організм електричного струму (опір тіла людини).

6.1.3. Найбільш небезпечним для людини є перемінний струм з частотою від 50 Гц до 500 Гц.

6.1.4. Величина опору різних органів тіла людини при вологій, брудній, пошкодженій шкірі різко знижується, що і є першопричиною підвищення ризику смертності від ураження електричним струмом.

6.1.5. Опір організму дії струму залежить як від фізичного, так і від психологічного стану людини і різко знижується, якщо людина голодна, нездорова, втомлена, в нетверезому стані. При цьому різко підвищується імовірність тяжкого ураження або навіть летального результату для людини.

					ВМ61.100004.001 ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

6.1.6. Наслідок травми залежить від площі ураження і місця дотику. При одному і тому ж значенні напруги в залежності від місця дотику в одних випадках люди одразу гинуть, а в інших можуть тільки злякатися та отримати чи отримати легку травму.

6.1.7. Виходячи з вище згаданого необхідно постійно пам'ятати, що робота з електричним струмом в будь-якому випадку несе певний ризик для життя і здоров'я людини, якщо ним невміло користуватися.

Небезпека електричного струму полягає в тому, що його дія на організм людини може викликати порушення або припинення серцевої діяльності, зупинку або виведення з ладу системи вентиляції(дихання) людини, шоківий стан, опіки, а нерідко такі ситуації закінчуються смертю. Внаслідок цього використання електропобутових приладів вимагає особливої уваги та обережності від людини.

Ураження електричним струмом суттєво відрізняється від інших травм. При ураженні електричним струмом розрізняють такі види уражень: електричні удари, коли струмом уражається весь організм, і електротравми, коли отримують місцеві зовнішні та внутрішні ураження тіла, тобто опіки.

При електричному ударі, коли струм проходить крізь тіло людини, у більшості випадків спочатку порушується дихання, а серце продовжує працювати із порушенням свого ритму, після чого може статися його зупинка, а потім смерть.

Електричні опіки тіла можуть бути отримані як при проходженні електричного струму через тіло людини, так і від іскор вольтової дуги при умовах короткого замикання, наприклад, при заміні зіпсованих електрозапобіжників, при випадковому замиканні різних електричних фаз металевими предметами або у випадку несправної ізоляції живлячих кабелів та інше. При цьому опік може проявлятися почервонінням шкіри та утворення на ній пухирів, а іноді може викликати глибоке пошкодження тканин і навіть обуглення кісток в крайніх випадках.

					ВМ61.100004.001 ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

6.1.8. Щоб уникнути ураження електричним струмом або, точніше, мінімізувати вірогідність ураження при використанні побутових та промислових електроприводів (далі електроспоживачами) на виробництві слід дотримуватись правил:

- Користуватися електроспоживачами, кабелі живлення яких мають триполюсну вилку з попереджувочим включенням заземлюючого (зануляючого) кабелю.
- Не вмикати в електромережу електроспоживачі, кабелі живлення яких мають пошкоджену ізоляцію або взагалі її не мають.
- Не вмикати в електромережу електроспоживачі, які мають пошкодження або ненадійно з'єднанні з електрошнуром живлення, вилками, розетками чи подовжувачами.
- Не вмикати електроспоживачі в розетки, які не мають захисних, направляючих.
- Не користуватися пошкодженими розетками, відгалужувальними та з'єднувальними коробками, вимикачами та іншою електроарматурою, а також електролампами, скло яких має сліди затемнення або випинання.
- Не користуватися саморобними подовжувачами, які не відповідають вимогам, що пред'являються до переносних електропроводок.
- Не застосовувати для опалення приміщень нестандартного (саморобного) електронагрівального обладнання або ламп розжарювання.
- При користуванні електроспоживачами, які мають окремий, самостійний провід заземлення, перед включенням його в електромережу перевірити наявність та надійність приєднаного заземлюючого кабелю до відповідних клем.
- По можливості, уникати доторкання руками до металевих частин електроспоживачів, під'єднаних до електромережі.

					ВМ61.100004.001 ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

- Не торкатися оголеними руками до обірваних та оголених проводів електромережі.
- Самостійно не замінювати зіпсовані електрозапобіжники, електролампи, не проводити ремонт електроспоживачів та електромережі без наявності відповідних знань та умінь для цього.
- Під час прибирання пилу з електроспоживачів, миття холодильників та підлоги біля них обов'язково відключати їх від електромережі.
- Не залишати без догляду працюючі електроспоживачі.
- По закінченні робочого дня вимкнути вимикач на електроспоживачі та від'єднати провід живлення від розетки електромережі. При цьому слід пам'ятати, що від'єднуючи вилку електроспоживача від розетки, її слід тримати за корпус, а не смикати за провід живлення, бо можна висмикнути один з проводів і потрапити під ураження електричним струмом.

6.2. Дії працюючих при ураженні електричним струмом

6.2.1. При ураженні електричним струмом слід негайно звільнити потерпілого від його дії шляхом вимкнення електричного струму або відриванням його від джерела струму тримаючись за одяг потерпілого, якщо він сухий, чи ставши на гумову ковдру, суху дошку, картон, фанеру, брезент. Руки рятувальника не повинні буди вологі в цей час.

Негайно викликати швидку медичну допомогу.

Якщо потерпілий опинився у стані непритомності, йому слід забезпечити приплив свіжого повітря, розстібнути тісний одяг. Піднести до носа нашатирний спирт та по чергово змусити його зробити вдих по чергово лівою та правою ніздрями нашатирного спирта. При цьому забороняється давати вдихати наша-

					ВМ61.100004.001 ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

тирний спирт безпосередньо із баночки, тобто необхідно змочити ватку нашати-
тирним спиртом та тримати її на відстані 2-5 сантиметрів від слизової оболонки
носа потерпілого. Також можна обризкати водою, розтирати і зігрівати тіло.

При рідкому та судорожному диханні потерпілого, слід робити йому шту-
чне дихання.

Штучне дихання - це лікарський засіб, метою якого є відновлення природ-
нього самостійного дихання потерпілого.

Засіб штучного дихання являє собою механічний, ритмічний вплив на гру-
дну клітину та дихальні м'язи потерпілого. При цьому створюється газообмін у
легенях і поступово може відновитися природне дихання.

Допомогу потерпілому повинні надавати дві особи:

- одна з них накладає долоню на нижню третину грудей і створює по-
штовхи на груди з частотою приблизно 50-ти поштовхів на хвилину.

Стискання серця між грудьми та хребтом призводить до виштовхування
крові із серця в судини і сприяє відновленню кровотоку.

- друга, щільно притуливши свої губи до роту потерпілого, вдуває в його
легені повітря. При цьому грудна клітина розширюється і утворюється пасив-
ний вдих. В той час коли той, хто надає допомогу відстороняється, грудна клі-
тина потерпілого спадає, і в нього утворюється пасивний вдих.

Надання допомоги потерпілому продовжувати до прибуття кваліфікованої
медичної допомоги.

6.2.2. При отриманні потерпілим опіків, потрібно, не торкаючись руками
обпечених місць, обережно накласти на пошкоджені місця стерильну пов'язку і
відвести або, краще, відвезти потерпілого до медичного закладу в найкоротші
строки.

7 ІНСТРУКЦІЯ З ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПРИЛАДУ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ЗАПИЛЕНОСТІ ПОВІТРЯ

Загальний вигляд аналітичного модуля приладу для вимірювання запиленості повітря (рис. 7.1).

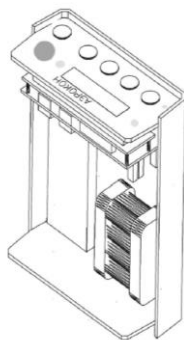


Рисунок 7.1 – Аналітичний модуль приладу для вимірювання запиленості повітря

До аналітичного модуля входять такі частини як:

- Модуль передньої панелі, що складається з самої панелі приладу та розміщеним на ній рідкокристалічним індикатором (РКІ), клавіатурою та роз'ємами для підключення вимірювального модуля, персонального комп'ютера через інтерфейс RS-232 та зарядного пристрою.
- Контролер мікропроцесора;
- Акумуляторну батарею;
- Корпус.

Вимірювальний модуль включає в себе такі частини:

- Вимірювальна камера, що заповнюється досліджуванним повітрям;
- Світлова пастка;
- Фотоприймач з посилювачем сигналу;
- Вентилятор для нагнітання повітря у вимірювальну камеру;
- Корпус;
- Електричний роз'єм.

Модуля підключаються один до одного за допомогою з'єднувального кабелю.

Фронтальна панель аналітичного модуля зображена на рис. 7.2.




Рисунок 7.2 – Фронтальна панель аналітичного модуля


Де:


- 1- роз'єм RS-232;
- 2- РКІ індикатор;
- 3- роз'єм для підключення вимірювального модуля;
- 4- кнопка ввімкнення/вимикання;
- 5- кнопка вибору режиму підсвічування;
- 6- кнопка встановлення «нуля середнього значення»;
- 7- кнопка встановлення нуля поточних значень;
- 8- роз'єм для підключення ЗУ.


Модулі виготовлені із ударостійкої пластмаси.

Прилад вимірює поточну концентрацію зважених частинок в досліджуваному об'ємі повітря. Основними органами управління приладом є кнопки на фронтальній панелі приладу:

 - встановлення нуля. Встановлює нуль показів приладу по чистому повітрю. Встановлення нуля необхідно проводити в чистому приміщенні, при попередньо вимкненому вентиляторі вимірювального модуля.

 - підсвічування дисплею приладу. Натисненням кнопки здійснюється ввімкнення/вимикання підсвічування. Необхідно відмітити, що своєчасне вимикання підсвічування дозволяє економно витрачати енергію акумулятора приладу.

 - очищення значення нуля. Дозволяє очистити регістр нуля-значення концентрації частинок та почати нове вимірювання із встановленням нового нуля-значення.

 - режим меню приладу. Дозволяє увійти в меню приладу та змінити необхідні налаштування.

На рис 7.3. зображено меню приладу.






Рисунок 7.3 – Структура меню приладу для вимірювання запиленості повітря

При вході в меню кнопки    змінюють свої значення:

 - вибор наступного пункту меню;


 - вихід з меню в основний режим приладу;


 - підтвердження вибору поточного пункту меню.

Наприклад, для ввімкнення вентилятора вимірювального модуля необхідно натиснувши  увійти в режим меню, за допомогою кнопки  обрати пункт «вентилятор вкл.», та, натиснувши  підтвердити свій вибор. Після чого прилад ввімкне вентилятор та приблизно через 5 секунд перейде в основний режим.

7.1 Порядок роботи

Помістіть прилад в зону вимірювання концентрації аерозольних частинок. Прилад повинен бути встановлений на нерухому поверхню або підвішений на цвях, надійно забитий до стінки, осі вентиля, арматури.

Ввімкніть прилад, натиснувши кнопку «ВКЛ». Після виходу приладу в основний робочий режим зачекайте 3-5 хвилин. Після чого, у разі необхідності, встановіть нуль натиснувши кнопку . Під час встановлення нуля на індикаторі з'явиться повідомлення: ^{**Установка нуля**} *****ПОДОЖДИТЕ****. Після чого прилад через 12 секунд знову повернеться до основного режиму роботи. На індикаторі з'явиться повідомлення: $Cm = 00.00 \text{ Mr/M3}$
 $Ct = 00.00 \text{ Mr/M3}$, після чого прилад готовий для роботи.

Якщо в робочій зоні темно, то можна ввімкнути підсвічування індикатора. Ввімкнення та вимкнення підсвічування здійснюється натисненням на кнопку  із зображенням лампочки.

Для вимірювання необхідно ввімкнути вентилятор вимірювального блока. Як це зробити написано вище.

Прилад перейде в режим вимірювання концентрації верозольних частинок і на індикаторі з'являться данні про поточну та середню концентрації аерозольних частинок.

					ВМ61.100004.001 ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		75

ВИСНОВКИ

Завданням дипломного проекту є дослідження вже існуючих схем для вимірювання запиленості атмосферного повітря та розробка на основі їх удосконаленої інформаційно-вимірювальної системи, що дозволяє вимірювати рівень запиленості атмосферного повітря. В даній дипломній роботі був проведений аналіз існуючих газо- та пилоаналізаторів, що вимірюють характеристики повітря. Також були визначені їх основні характеристики.

В першому розділі представлені основні характеристики та забруднювачі повітря, методи та деякі з приладів для їх вимірювання. Друга частина роботи присвячена приладам та методам вимірювання головного забруднювача повітря – запиленості.

Внаслідок вищезазначеного, обґрунтованою є необхідність розробки удосконаленої системи вимірювання запиленості повітря, в якій недоліки, що були виявлені, у вже існуючих приладах. Це дозволить вимірювати запиленість повітря із мінімізованою похибкою.

В процесі роботи була розроблена структурна схема вимірювання запиленості повітря, функціональна схема вимірювання запиленості повітря та розроблена і розрахована принципова схема вимірювання запиленості повітря. Проведений розрахунок каналу перетворення оптичного сигналу та розрахунок відносних похибок складових даного каналу та сумарна відносна похибка. Наведені основні заходи щодо техніки безпеки, розроблено інструкцію з експлуатації.

					ВМ61.100004.001 ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		76

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Степановских А.С. // Екологія. Підручник для вузів, М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2001. – 703 с.
2. Олійник Я.Б., Шищенко П.Г., Гавриленко О.П. // Основи екології. – К., 2012. – 288-289.
3. Агаджанян Н.А. // Ритмы жизни и здоровье. – Москва 1975. – 20-30.
4. Мишустин Ю.Н. // Выход из тупика. Ошибки медицины исправляет физиология., - К., 2007. – 8-11с.
5. Бекетов В.Е., Євтухова Г.П., Коваленко Ю.Л. // Методи і прилади контролю стану атмосферного повітря. – Харків 2011.
6. Шкурятник В., Рубан А., Варганов А. // Методы и приборы контроля окружающей среды и экологический мониторинг. – Москва 2009.
7. <https://uk.wikipedia.org>
8. Деркач Ф. А. Хімія. — Львів : Львівський університет, 1968. — 312 с.
9. Корсак К.В., Плахотнік О.В.// Основи екології, - К.: МАУП, 2000. – 238.
10. ГОСТ 17.2.4.05-83 Охрана природы. Атмосфера. Гравиметрический метод определения взвешенных частиц пыли.
11. Д.Г. Корнієнко// Автоматична система очистки пробопідготовки газоаналізаторів димових газів. – Харків 2015. – 29-32.
- 12.Преснухин Л.Н., Воробйов Н.В., Шишкевич А.А. // Розрахунок елементів цифрових пристроїв. Навчальний посібник під ред. Преснухин Л.Н. - М.: Вища школа, 1991 - 526 с.
- 13.Гук М. // Інтерфейси. Довідник, СПб, ЗАТ вид. «Пітер», 1999 - 146с.

					ВМ61.100004.001 ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

[illegible]

[illegible]

